



**Pedro André Guerreiro    A Influência de Diferentes Tipos de Oclusão Dentária**  
**Martins de Araújo        na Produção de Sons da Fala**



**Pedro André Guerreiro Martins de Araújo    A Influência de Diferentes Tipos de Oclusão Dentária  
na Produção de Sons da Fala**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências da Fala e da Audição, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Miguel Teixeira de Jesus, Professor Adjunto da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

Doutor Nelson Fernando Pacheco da Rocha  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

vogais

Doutor Aníbal João de Sousa Ferreira  
Professor Auxiliar da Universidade do Porto

Doutor Luís Miguel Teixeira de Jesus  
Professor Adjunto da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Ao Doutor Luís Jesus, pelo rigor, dedicação e entusiasmo que sempre dedicou a este trabalho, no qual sempre acreditou.

À Dra. Isabel Monteiro, colega e amiga, mas essencialmente grande modelo profissional e humano.

Ao Dr. Rui Costa e Sousa, pela disponibilidade, conhecimentos e interesse prestados, verdadeira prova de um espírito transdisciplinar.

Às colegas e amigas Susana, Marisa e Helena, sempre presentes em todos os momentos desta longa demanda.

À minha Família, João, Fernanda e Cristiana, pela compreensão nos momentos ausentes e pela energia nos momentos presentes.

Ao Instituto de Engenharia Electrónica e Telemática de Aveiro pelas condições que proporcionou à realização do estudo.

Supported (in part) by research grant number R01 DC 00820 from the National Institute of Deafness and Other Communicative Disorders, U. S. National Institutes of Health.

## palavras-chave

Fala, oclusão dentária, *X-ray microbeam speech production database*, espaço articulatório oral, análise acústica, análise articulatória.

## resumo

Usou-se a *X-ray microbeam speech production database* (XRMB-SPD) para descrever diferenças acústicas e articulatórias em indivíduos com classes de oclusão dentária diferentes. Foram seleccionados 4 informantes, 1 homem e 1 mulher de classe I e 1 homem e 1 mulher de classe II. Caracterizou-se o espaço articulatório dos informantes segundo metodologia do *espaço-A modificado* e procedeu-se a análise acústica e articulatória das vogais [a, i, u, æ] e das consoantes [p, t, k, f, s, ʃ]. Relativamente à oclusão dentária observou-se: maior inclinação da parede posterior da faringe na classe II; variabilidade nas adaptações articulatórias nos informantes de classe II, provavelmente com relação à divisão da classe; poucas diferenças na produção de vogais; relação entre o “broad peak” dos espectros multitaper e o ponto de articulação do fone [ʃ]. Seria pertinente complementar a classificação da oclusão dentária segundo Angle com a avaliação do perfil facial e a análise cefalométrica. Contudo, o *espaço-A modificado* parece ser um método válido para contornar algumas das limitações da XRMB-SPD. A análise conjunta de parâmetros acústicos e articulatórios é uma mais valia, com várias correlações ainda por explorar.

**keywords**

Speech, dental occlusion, X-ray microbeam speech production database, oral articulatory space, acoustic analysis, articulatory analysis.

**abstract**

This study used the X-ray microbeam speech production database (XRMB-SPD) to describe acoustic and articulatory differences in speech production. Four subjects (1 male and 1 female with class I, and 1 male and 1 female with class II) were selected. The articulatory space of each subject has been characterized by the *modified A-space* method. The vowels [a, i, u, æ] and consonants [p, t, k, f, s, ʃ] were acoustically and articulatorily analysed. Results showed: a tipped posterior pharynx wall for class II; variability in the articulatory adaptations on the subjects of class II, probably related to different class divisions; limited variability in vowel production; the multitaper spectrum broad peak of [ʃ] was related to the place of articulation. The Angle occlusal classification, functional and cephalometric analysis has been shown to be a valuable tool. The *modified A-space* seems to be a valid method to overcome some of the XRMB-SPD limitations. Acoustic and articulatory synchronized analysis seems to be promising, with several unexplored correlations to achieve.

# ÍNDICE

## Capítulo 1

<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Motivações do Estudo.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Enquadramento Teórico .....</b>	<b>2</b>
1.2.1. Variáveis .....	2
1.2.2. A base de dados XRMB-SPD.....	5
1.2.3. Estado da Arte .....	6
<b>1.3. Enquadramento do Estudo .....</b>	<b>9</b>

## Capítulo 2

<b>Seleccção e Caracterização da Amostra .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Introdução .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Oclusão Dentária .....	11
2.1.1.1. <i>Classificação de oclusão dentária.....</i>	<i>11</i>
2.1.1.2. <i>Tipologia Facial .....</i>	<i>15</i>
2.1.1.3. <i>Cefalometria .....</i>	<i>18</i>
2.1.2. Descrição da XRMB-SPD .....	21
2.1.2.1. <i>Caracterização da população da XRMB-SPD .....</i>	<i>22</i>
2.1.2.2. <i>Propriedades do Corpus.....</i>	<i>23</i>
2.1.2.3. <i>Caracterização do sistema XRMB.....</i>	<i>23</i>
2.1.2.3.1. Sistema de referência .....	23
2.1.2.3.2. Dados estáticos .....	25
2.1.2.3.3. Dados dinâmicos.....	27
2.1.2.4. <i>Caracterização do sistema de aquisição de sinal .....</i>	<i>28</i>
2.1.3. Estado da Arte .....	29
<b>2.2. Método .....</b>	<b>33</b>
2.2.1. Critérios de selecção de informantes .....	33
2.2.2. Método do <i>espaço-A modificado</i> .....	35

2.2.2.1. Medida 1 (M1) – Distância antero-posterior do EAO.....	35
2.2.2.2. Medida 2 (M2) – Área do plano sagital do EAO .....	36
2.2.2.3. Medida 3 (M3) – Área do plano horizontal do EAO.....	37
2.2.2.4. Medida 4 (M4) – Inclinação da parede posterior da faringe .....	38
2.2.2.5. Medida 5 (M5) – Ângulo do arco da mandíbula.....	39
2.2.2.6. Extracção de dados .....	39
2.2.3. Procedimentos da selecção e caracterização .....	41
2.2.3.1. Selecção de informantes.....	41
2.2.3.2. Caracterização de informantes .....	41
<b>2.3. Resultados .....</b>	<b>44</b>
2.3.1. Selecção da amostra .....	44
2.3.2. Caracterização da amostra.....	47
2.3.2.1. Análise comparativa do palato e da faringe .....	47
2.3.2.2. Análise comparativa da deglutição.....	49
2.3.2.3. Análise comparativa da mobilidade oral .....	50
2.3.2.4. Análise comparativa das medidas de espaço-A modificado .....	52
<b>2.4. Sumário .....</b>	<b>56</b>

## Capítulo 3

<b>Análise de Sons Vocálicos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1. Introdução.....</b>	<b>59</b>
3.1.1. Caracterização e Classificação de Vogais .....	59
3.1.1.1. Breve caracterização das vogais do Inglês Americano .....	61
3.1.2. Estado da Arte .....	65
<b>3.2. Metodologia.....</b>	<b>67</b>
3.2.1. Selecção do Corpus .....	67
3.2.2. Procedimentos de análise acústica .....	69
3.2.3. Procedimentos de análise articulatória .....	71
<b>3.3. Resultados .....</b>	<b>73</b>
3.3.1. Análise acústica de vogais.....	73
3.3.2. Análise articulatória de vogais .....	76



3.3.3. Relações entre dados acústicos e articulatórios .....	80
<b>3.4. Sumário.....</b>	<b>83</b>

## Capítulo 4

### **Análise de Sons Consonânticos ..... 85**

<b>4.1. Introdução .....</b>	<b>85</b>
4.1.1. Caracterização de consoantes .....	85
4.1.1.1. <i>Fricativas</i> .....	86
4.1.1.2. <i>Oclusivas</i> .....	89
4.1.2. Estado da Arte .....	91
<b>4.2. Método .....</b>	<b>94</b>
4.2.1. Selecção do Corpus .....	94
4.2.2. Procedimentos de análise acústica.....	96
4.2.3. Procedimentos de análise articulatória .....	99
<b>4.3. Resultados.....</b>	<b>102</b>
4.3.1. Análise acústica de consoantes.....	102
4.3.1.1. <i>Análise temporal</i> .....	102
4.3.1.2. <i>Análise espectral de [f]</i> .....	103
4.3.1.3. <i>Análise espectral de [s]</i> .....	104
4.3.1.4. <i>Análise espectral de [ʃ]</i> .....	105
4.3.1.5. <i>Análise espectral de [p]</i> .....	106
4.3.1.6. <i>Análise espectral de [t]</i> .....	108
4.3.1.6. <i>Análise espectral de [k]</i> .....	108
4.3.2. Análise articulatória de consoantes .....	109
4.3.2.1. <i>Análise articulatória de [f]</i> .....	110
4.3.2.2. <i>Análise articulatória de [s]</i> .....	112
4.3.2.3. <i>Análise articulatória de [ʃ]</i> .....	114
4.3.2.4. <i>Análise articulatória de [p]</i> .....	116
4.3.2.5. <i>Análise articulatória de [t]</i> .....	118
4.3.2.6. <i>Análise articulatória de [k]</i> .....	119

<b>4.4. Sumário .....</b>	<b>122</b>
---------------------------	------------

## **Capítulo 5**

<b>Conclusões e Trabalho Futuro .....</b>	<b>123</b>
---	------------

<b>5.1. Conclusões .....</b>	<b>123</b>
------------------------------	------------

<b>5.2. Limitações .....</b>	<b>127</b>
------------------------------	------------

<b>5.3. Estudos Futuros .....</b>	<b>129</b>
-----------------------------------	------------

<b>Bibliografia.....</b>	<b>131</b>
--------------------------	------------

<b>Publicações Realizadas no Âmbito do Mestrado.....</b>	<b>137</b>
--	------------

# ÍNDICE DE FIGURAS

## Capítulo 1

Figura 1.1 Diferentes tipos de maloclusão dentária: classe I, classe II e classe III. De Nojima e Gonçalves (2001).....	2
Figura 1.2. Ilustração do hábito oral inadequado de sucção digital, responsável por alterações em funções estomatognáticas e por alterações dentárias. De Ashouri e Wadden (2006) e Spiller (2000). ....	4
Figura 1.3 Ilustração do sistema de aquisição de imagem da XRMB-SPD e da localização dos eléctrodos nas estruturas articulatórias. De Myers (1995). ....	6

## Capítulo 2

Figura 2.1 Estruturas orofaciais: imagem frontal e corte sagital. Adaptado de Netter (1995).....	11
Figura 2.2 Oclusão normal / Maloclusão de Classe I (A, B e C). De Nojima e Gonçalves (2001), Daskalogiannakis (2004) e Ashouri e Wadden (2006). ....	12
Figura 2.3 Maloclusão de Classe II: Divisão 1 (A, B e C) e Divisão 2 (D, E e F). De Nojima e Gonçalves (2001), Daskalogiannakis (2004) e Ashouri e Wadden (2006). ....	13
Figura 2.4 Maloclusão de Classe III com mordida cruzada anterior. De Nojima e Gonçalves (2001), Daskalogiannakis (2004) e Ashouri e Wadden (2006). ....	14
Figura 2.5 Mordida aberta anterior (A) e posterior (B). De Daskalogiannakis (2004). ..	15
Figura 2.6 Diferentes padrões de tipologia facial vertical: (A) Mesofacial + Tipo II; (B) Braquifacial + Tipo II; (C) Dolicofacial + Tipo II. Adaptado de Bianchini (2002). ....	16
Figura 2.7 Padrão facial sagital. De Arquivo Clínico gentilmente cedido pelo Dr. Rui Costa e Sousa. ....	18

Figura 2.8 Diferentes combinações possíveis entre padrões de tipologia facial vertical e sagital. Adaptado de Bianchini (2002).	18
Figura 2.9 Radiografia cefalométrica (A) e análise cefalométrica segundo Ricketts (B). De Bianchini (2002).	20
Figura 2.10 Sistema de eixos da XRMB-SPD com localização dos três eléctrodos de referência (Ref) e dos restantes eléctrodos móveis nas estruturas orofaciais e imagem de <i>X-ray Microbeam</i> com a identificação dos mesmos eléctrodos. De Westburry (1994, p.37) e Myers (1995).	24
Figura 2.11 Distribuição de medidas antropomórficas da mandíbula com base em radiologia convencional. De Westburry (1994, p.29).	25
Figura 2.12 Medidas da arcada dentária maxilar e da altura do palato. De Westburry (1994, p.27).	26
Figura 2.13 Constituição e localização da placa de calibração em relação à arcada superior. De Westburry (1994, p.44).	27
Figura 2.14 Distribuição de eléctrodos na língua. De Westburry (1994, p.41).	28
Figura 2.15 Imagem representativa da construção do A-space. De Honda et al. (1996, p.2).	30
Figura 2.16 Resultados de Honda et al. (1996, p.3) relativos às diferenças entre homens e mulheres.	31
Figura 2.17 Resultados de Hashi et al. (1998) e Simpson (2002).	32
Figura 2.19 Representação da M1 do <i>Espaço A Modificado</i> .	36
Figura 2.20 Cálculo da M2 do <i>Espaço A Modificado</i> .	37
Figura 2.21 Cálculo da M3 e M2 do <i>Espaço A Modificado</i> .	37
Figura 2.22 Representação da M5 do <i>Espaço A Modificado</i> .	38
Figura 2.23 Representação da M6 do <i>Espaço A Modificado</i> .	39
Figura 2.24 Porção do código Matlab utilizado para calcular as medidas do <i>espaço-A modificado</i> .	40

Figura 2.25 Medidas do <i>espaço-A modificado</i> relativas ao informante jw13 – FC12. Ficheiro de texto e gráfico obtido em Matlab.....	40
Figura 2.26 Processo de extracção de imagem na prova TP117 de jw54. Visualização da imagem no <i>TF32</i> e após a sua extracção. ....	43
Figura 2.27 Tabelas de dispersão das medidas M1 e M2 nos grupos MC11 e FC11, e respectivas medianas. ....	47
Figura 2.28 Imagens sobrepostas de palato e faringe dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	48
Figura 2.29 Imagens sobrepostas da deglutição (prova TP107) dos informantes de género masculino jw15 e jw61 e de género feminino jw54 e jw13. ....	50
Figura 2.30 Imagens sobrepostas da amplitude máxima de abertura da mandíbula (prova TP106) dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.....	51
Figura 2.31 Imagens sobrepostas da amplitude máxima de infraversão externa da língua (prova TP117) dos informantes jw55, jw61, jw54 e jw13. ....	52
Figura 2.32 Medidas do <i>espaço-A modificado</i> relativas aos informantes jw15 – MC11, jw61 – MC12, jw54 – FC11 e jw13 – FC12. ....	53

### Capítulo 3

Figura 3.1 Espaço das vogais do Português Europeu e do Inglês Americano. Adaptado de IPA (1999).....	56
Figura 3.2 Modelo de tubos cilíndricos da produção da vogal [u]. De Titze (2000).....	61
Figura 3.3 Em cima: espaço de algumas vogais do Inglês. De Borden et al. (2003). Em baixo: espectrogramas das vogais [a], [i], [u] e [æ] de um falante de Inglês Americano. Adaptado de Ladefoged (2006, p.186). ....	62
Figura 3.4 Distribuição de formantes (F1, F2 e F3) das vogais [a], [i], [u] e [æ] do Inglês Americano. Adaptado de Ladefoged (2006, p.185). ....	63

Figura 3.5 Vogal [a]: diagrama da postura articulatória, distribuição da área antero-posterior do ressoador e musculatura implicada na articulação. De Borden et al. (2003, p.93).....	63
Figura 3.6 Vogal [i]: diagrama da postura articulatória, distribuição da área antero-posterior do ressoador e musculatura implicada na articulação. De Borden et al. (2003, p.90).....	64
Figura 3.7 Vogal [u]: diagrama da postura articulatória, distribuição da área antero-posterior do ressoador e musculatura implicada na articulação. De Borden et al. (2003, p.90).....	64
Figura 3.8 Resultados de Honda et al. (1996). ....	65
Figura 3.9 Resultados de Simpson (2002) com sobreposição das produções e com o palato normalizado. ....	66
Figura 3.10 Descrição da prova TP013. Adaptado de Westbury (1994). ....	67
Figura 3.11 Descrição da prova TP014. Adaptado de Westbury (1994). ....	68
Figura 3.10 Análise da F1 da vogal [i] do informante JW61 na prova TP013 com o programa <i>TF32</i> . ....	70
Figura 3.11 Pormenor do registo de dados da análise acústica das vogais e da construção de gráficos de dispersão no programa <i>Excel</i> para o informante jw61.....	71
Figura 3.12 Ficheiro de texto contendo as coordenadas dos eléctrodos móveis na produção da vogal [i] pelo informante JW61 na prova TP013.....	72
Figura 3.13 Sobreposição de imagens extraídas do <i>TF32</i> referentes à produção da vogal [a] dos informantes jw54 e jw13 na prova TP013.....	72
Figura 3.14 Gráficos de dispersão dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13, com representação das formantes F1 e F2 das vogais [a], [i], [u] e [æ] e comparação entre o espaço das vogais obtido com os valores normativos apresentados por Ladefoged (2006) e com os valores medianos obtidos no estudo.....	74
Figura 3.15 Imagens sobrepostas da produção da vogal [a] na prova TP013 dos informantes jw15, jw61, jw54e jw13. ....	76

Figura 3.16 Imagens sobrepostas da produção da vogal [i] na prova TP013 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	77
Figura 3.17 Imagens sobrepostas da produção da vogal [u] na prova TP013 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	79
Figura 3.18 Imagens sobrepostas da produção da vogal [æ] na prova TP013 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	80
Figura 3.19 Imagens sobrepostas da produção da vogal [a] e [æ] na prova TP013 dos informantes jw15, jw61 e jw54. ....	82

## Capítulo 4

Figura 4.1 Secções médio-sagittais em ressonância magnéticas da produção das consoantes [f], [s] e [ʃ]. De Narayanan et al. (1995). ....	88
Figura 4.2 Espectrograma das fricativas não-vozeadas /f, s, ʃ, θ/. De Russell (2006)...	88
Figura 4.3 Secções médio-sagittais da produção das consoantes [p], [t] e [k]. De Perkell (1969).....	90
Figura 4.4 Espectrograma da palavra inglesa “attack”. De Russell (2006).....	91
Figura 4.5 Espectro multitaper de [s] na palavra [pus]. De Jesus (2001) e Sobreposição de 6 espectros multitaper da fricativa [s]. De Shadle e Scully (1995).....	92
Figura 4.6 Resultados da fricativa [s] produzida por um informante de classe I e classe II. De Araújo et al. (2005). ....	93
Figura 4.7 Descrição da Prova TP016. Adaptado de Westbury (1994). ....	94
Figura 4.8 Ficheiro de texto contendo a anotação em ms relativas às várias produções de consoantes pelo falante jw61.....	96
Figura 4.9 Pormenor da anotação efectuada no software <i>TF32</i> para a prova TP016 do indivíduo jw61, na produção [ʌfa].....	97
Figura 4.10 Pormenor da anotação efectuada no software <i>TF32</i> para a prova TP016 do indivíduo jw55, na produção [ʌta].....	98

Figura 4.11 Espectro multitaper do fonema [ʃ] de jw15 na palavra “special” e exemplo da respectiva medição manual do “broad peak”.	99
Figura 4.12 Gráfico XY extraído do TF32 relativo à produção de [ʃ] do informante jw15 na tarefa TP016 com ilustração das medidas extraídas em Matlab.	100
Figura 4.13 Gráfico gerado com o <i>Matlab</i> relativo à produção de [ʃ] do informante jw15 na tarefa TP016.	101
Figura 4.14 Espectros multitaper do fone [f] na prova TP016 de jw15, jw61, jw54 e jw13.	104
Figura 4.15 Espectros multitaper do fone [s] na prova TP016 de jw15, jw61, jw54 e jw13.	105
Figura 4.16 Espectros multitaper do fone [ʃ] na prova TP016 de jw15, jw61, jw54 e jw13.	106
Figura 4.17 Espectros multitaper do fone [p] na prova TP016 de jw15, jw61, jw54 e jw13.	107
Figura 4.18 Espectros multitaper do fone [t] na prova TP016 de jw15, jw61, jw54 e jw13.	108
Figura 4.19 Espectros multitaper do fone [k] na prova TP016 de jw15, jw61, jw54 e jw13.	109
Figura 4.20 Imagens sobrepostas da produção da consoante [f] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.	111
Figura 4.21 Produção da consoante [f] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.	112
Figura 4.22 Imagens sobrepostas da produção da consoante [s] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.	113
Figura 4.23 Produção da consoante [s] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.	113
Figura 4.24 Imagens sobrepostas da produção da consoante [ʃ] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.	114



Figura 4.25 Produção da consoante [ʃ] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	116
Figura 4.26 Imagens sobrepostas da produção da consoante [p] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	117
Figura 4.27 Produção da consoante [p] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	117
Figura 4.28 Imagens sobrepostas da produção da consoante [t] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	118
Figura 4.29 Produção da consoante [t] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	119
Figura 4.30 Imagens sobrepostas da produção da consoante [k] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	120
Figura 4.31 Produção da consoante [k] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	121



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Classificação dos informantes. ....	45
Tabela 2.2 Informantes seleccionados na primeira fase. ....	46
Tabela 2.3 Medidas M1, M2 e M3 do espaço-A modificado relativas aos informantes seleccionados na primeira fase. ....	46
Tabela 2.4 Medidas do <i>espaço-A modificado</i> relativas aos 4 informantes.....	53
Tabela 3.1 Classificação das vogais orais do Português Europeu padrão. Adaptado de Mateus et al. (2005). ....	60
Tabela 3.2 Palavras que contêm as vogais seleccionadas e respectivas provas onde se encontram. ....	69
Tabela 3.3 Apresentação das formantes F1, F2 e F3 das vogais [a], [i], [u] e [æ] segundo a bibliografia (Ladefoged, 2006) e os resultados obtidos no estudo. ....	73
Tabela 4.1 Classificação das consoantes da língua portuguesa segundo ponto e modo de articulação, usando o Alfabeto Fonético Internacional. Adaptado de IPA (1999, p.126). .	85
Tabela 4.2 Classificação das consoantes da língua inglesa dialecto americano segundo ponto e modo de articulação, usando o Alfabeto Fonético Internacional. Adaptado de IPA (1999, p.41). ....	86
Tabela 4.3 Palavras que contêm as consoantes seleccionadas e respectivas provas onde se encontram. ....	95
Tabela 4.4 Medianas das durações das produções de cada som seleccionado para os informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.....	102
Tabela 4.5 Medidas calculadas relativas à postura articulatória dos sons [f, s, ʃ, p, t, k] produzidos pelos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13. ....	110



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. MOTIVAÇÕES DO ESTUDO

Há muito que o Homem se interessa pela compreensão do complexo processo de comunicação que o caracteriza, o que originou múltiplas áreas de saber baseadas nesta problemática. Actualmente, a investigação científica tende a unir ciências linguísticas e médicas com novas tecnologias, o que permite dar passos decisivos em direcção a um maior conhecimento do processo de comunicação humana, em especial no que respeita à fala. As cada vez mais avançadas técnicas de imagiologia têm agora um papel fundamental no desenvolvimento de novas teorias de produção de fala, que complementam a análise acústica com dados objectivos relativos aos processos neurológicos e às estruturas orofaciais implicadas nos movimentos articulatorios, assim como às características cinesiológicas dos mesmos. O *X-ray Microbeam* é um exemplo da aplicação prática destas técnicas no estudo dinâmico da fala e está na origem deste estudo.

Sendo a língua um código comum a uma determinada população e cultura, as características da fala entre os elementos de cada população são, numa perspectiva fonológica, pouco variáveis. No entanto, a grande variabilidade morfológica e funcional de cada indivíduo determina que, numa perspectiva fonética, se verifiquem diferenças de maior ou menor importância dentro de um mesmo grupo populacional.

Na prática clínica em Terapia da Fala, é importante avaliar adequadamente a interacção entre estruturas orofaciais e funções estomatognáticas, de modo a compreender a origem das perturbações articulatorias e a conseguir corrigi-las, compensá-las ou proceder ao encaminhamento clínico mais adequado. Uma das variáveis mais frequentes é a *oclusão dentária* que pode ter influência directa na articulação de alguns sons de inúmeras línguas, nomeadamente do Português Europeu.

É objectivo deste estudo, então, determinar relações entre a oclusão dentária e a articulação verbal através do estudo da base de dados *X-ray Microbeam Speech Production Database (XRMB-SPD)*.

## 1.2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 1.2.1. Variáveis

A *oclusão dentária*, principal variável deste estudo, está relacionada com o movimento e modo de aproximação dos dentes superiores e inferiores. Assim, tendo em conta que a maxila superior não é passível de se mover, a oclusão trata-se de uma consequência da acção mandibular. O resultado final deverá ser a interdigitação das cúspides dentárias (Hanson e Barret, 1995).

O sistema de Angle (Nojima e Gonçalves, 2001; Morris, 2004) é o mais utilizado na classificação da *oclusão dentária*, tendo como referência a oclusão dos primeiros molares permanentes e a relação antero-posterior dos arcos dentários. Angle (1907) propõe vários tipos de maloclusões: Classe I, Classe II e Classe III (ver Figura 1.1).



**Figura 1.1** Diferentes tipos de maloclusão dentária: classe I (à esquerda), classe II (ao centro) e classe III (à direita). De Nojima e Gonçalves (2001).

O tipo de *oclusão dentária* pode então considerar-se uma classificação que apesar de baseada em factores anatómicos influencia, não só o padrão estético da face, mas principalmente as várias funções do sistema estomatognático e outras associadas. O facto de as arcadas dentárias superior e inferior ocluírem de formas diferentes, vai implicar um padrão musculo-esquelético adaptado em repouso e em função, bem como diferenças ao nível da área intra-oral disponível para as várias funções.

Quando nos propomos a um estudo nesta área, devemos procurar conhecer as estruturas anatómicas envolvidas na *oclusão dentária*, considerando que as arcadas dentárias são apenas parte de um sistema complexo. Assim, é fundamental o conhecimento de toda a anatomia da cabeça e pescoço, dado que as funções influenciadas pelos dentes, entre as quais se inclui a fala, utilizam todo um conjunto de estruturas orofaciais que devem igualmente ser consideradas.

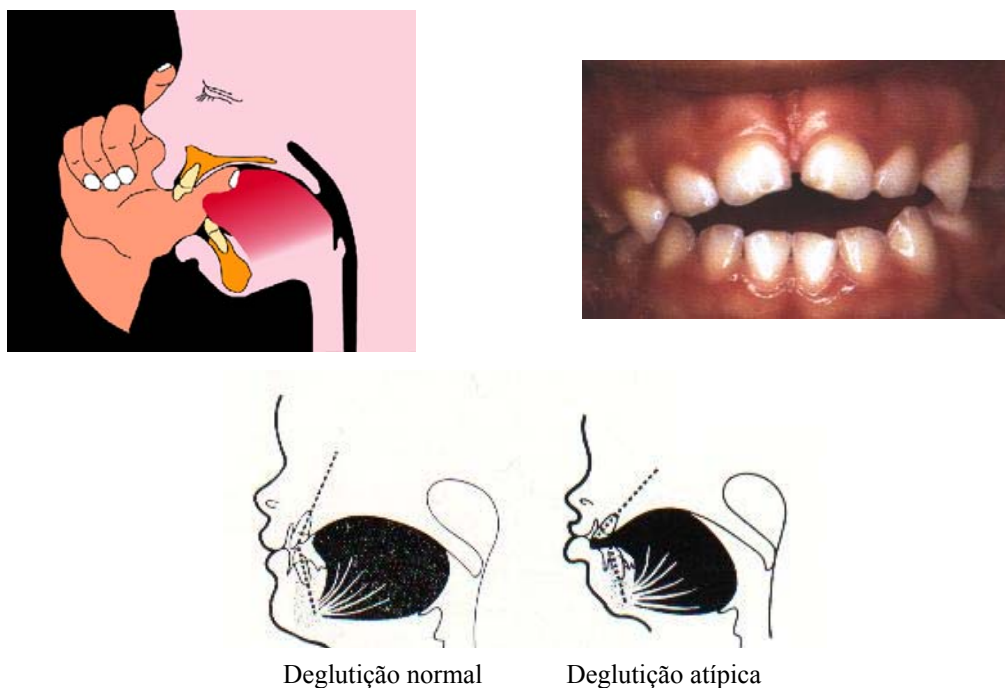
As especialidades de Ortodontia e Cirurgia Maxilo-Facial intervêm no tratamento de maloclusões dentárias e dismorfias faciais, através da correcção por aparelhos ortodônticos ou procedimentos cirúrgicos. Também a Otorrinolaringologia e a Estomatologia se apresentam como disciplinas importantes, devido ao conhecimento patológico nas áreas da respiração, audição, voz e alimentação. Por seu lado, a Terapia da Fala tem vindo a ganhar importância na reeducação funcional das várias estruturas orofaciais quer na comunicação humana quer em funções como a respiração e a deglutição. O contributo dos conhecimentos das várias disciplinas torna-se fundamental para uma visão compreensiva da problemática em estudo.

Dentro das ciências linguísticas destacamos a importância da Fonética, uma vez que sendo também objecto deste estudo os sons da fala, há que tirar partido das teorias e modelos de produção e percepção de fala, bem como das metodologias de investigação inerentes à Fonética Experimental, para planear o estudo e compreender os resultados obtidos.

Podemos designar por funções estomatognáticas as funções inerentes ao sistema estomatognático. São elas: respiração, sucção, deglutição, mastigação e fala (fonação, ressonância e articulação). É importante falar destas funções dado que uma alteração estrutural no sistema estomatognático vai alterar não apenas a fala, mas também as restantes funções. Veja-se o exemplo das fendas orofaciais, em que frequentemente há alterações de fala, aos níveis da fonação (patologia vocal), ressonância (hiper e hiponasalidade com escape nasal) e articulação (perturbações articulatórias ou articulatórias/fonológicas), mas também na respiração (infecções respiratórias recorrentes e alterações no padrão respiratório), sucção (ausência de diferença de pressão intra-oral), mastigação (alterações na dentição) e deglutição (regurgitação nasal) (Marchesan, 1998). Patologias mais simples, como a rinite alérgica ou a hipertrofia adenoideia e/ou amigdalina, são causas frequentes de obstrução faríngea na infância, e quando não tratadas

podem interferir no processo de desenvolvimento craniofacial e das várias estruturas e funções estomatognáticas (Valera, et al., 2003).

No entanto, em determinadas situações a alteração das funções implica o desenvolvimento alterado das estruturas. É o caso dos maus usos e abusos vocais, frequentemente relacionados com o surgimento de patologia vocal, e dos hábitos orais inadequados, como: onicofagia (roer as unhas), bruxismo (ranger os dentes), briqueamento (cerrar os dentes), sucção digital, sucção labial e uso prolongado de chupeta e biberão, entre outros. Relativamente aos hábitos orais inadequados, sabe-se que os três primeiros estão relacionados com disfunções na articulação temporomandibular (ATM). A sucção digital e labial, bem como o uso prolongado de chupeta e biberão podem alterar os padrões de deglutição (deglutição atípica) e de respiração (respiração oral) e em consequência criar deformidades no desenvolvimento facial da criança (ver Figura 1.2). Como resultados conhecidos descrevem-se: redução da área da cavidade nasal e da sua permeabilidade; palato duro mais alto; maloclusões dentárias, entre as quais mordida aberta anterior; hipotonia da musculatura labial; hipertrofia amigdalina; alteração da postura da língua em repouso e em função; alterações articulatórias.



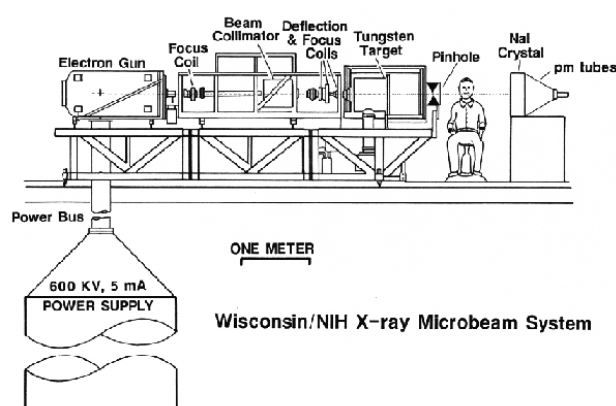
**Figura 1.2.** Ilustração do hábito oral inadequado de sucção digital (em cima à esquerda), responsável por alterações em funções estomatognáticas (em baixo) e por alterações dentárias (em cima à direita). De Ashouri e Wadden (2006) e Spiller (2000).



As alterações articulatórias descritas são diferentes dependendo do tipo de maloclusão dentária em causa. Relativamente à maloclusão de classe II, apesar de haver alguma variabilidade (ver Secção 2.1.1.), os sons mais alterados são as fricativas, em especial /s/ e /z/ (Marchesan, 1998). Na maloclusão de classe III os sons alterados são os mesmos embora os defeitos articulatórios sejam normalmente mais severos (Witzel, et al., 1980; Hu, et al., 1997). Em ambas as classes as alterações mais frequentes são a distorção e a substituição (Hu, et al., 1997).

### **1.2.2. A base de dados XRMB-SPD**

A base de dados seleccionada para este estudo foi a XRMB-SPD, criada na Universidade de Wisconsin, nos Estados Unidos da América com base na técnica imagiológica *X-ray Microbeam* (ver Figura 1.3). De uma forma simplificada, esta base de dados inclui 57 informantes, previamente avaliados a vários níveis estruturais, culturais, sociais e linguísticos. Cada informante submeteu-se a várias provas fonatórias e não-fonatórias, como leitura de frases e palavras, ou deglutição. As várias produções foram captadas em gravação áudio, electroglotografia e *X-ray Microbeam*. Nesta última, foram colocados eléctrodos de ouro em vários pontos da face e do sistema articulatório, nomeadamente língua, lábios e dentes (ver Figura 1.3) de forma a posteriormente serem lidos num sistema dinâmico de eixos-XY. As vantagens desta base de dados prendem-se com o elevado número de informantes, e com a possibilidade de conjugar análise acústica e análise articulatória em simultâneo (Westbury, 1994). A descrição detalhada da base de dados está apresentada na Secção 2.1.2.



**Figura 1.3** Ilustração do sistema de aquisição de imagem da XRMB-SPD (à esquerda) e da localização dos eléctrodos nas estruturas articulatórias (à direita). De Myers (Myers, 1995).

### 1.2.3. Estado da Arte

É vasta a quantidade de estudos desenvolvidos na área da produção e percepção de fala usando a base de dados XRMB-SPD. Referem-se de seguida alguns dos mais importantes, de forma a mostrar a versatilidade dos parâmetros estudados e a diversidade das metodologias utilizadas. Os mais importantes para o presente estudo serão abordados e desenvolvidos no início de cada capítulo de forma a suportar a discussão.

Honda, Maeda et al. (1996) apresentaram um trabalho, de grande relevância para o nosso estudo, acerca da influência das diferenças das estruturas articulatórias na articulação de vogais e consoantes usando uma técnica inovadora para calcular a área geométrica de articulação: o *A-space*. Sendo o estudo realizado com informantes falantes de Inglês Americano e Japonês da XRMB-SPD pretendeu-se comparar as variáveis estruturais relacionadas com diferenças entre género, etnia e perfil facial. Foi possível identificar diferenças importantes entre classes de padrão facial sagital, altamente relacionadas com a oclusão dentária, quer na articulação das vogais quer das consoantes.

Hashi et al. (1998) desenvolveram um método para facilitar a comparação entre informantes da XRMB-SPD. Trata-se de um procedimento simples de normalização que permite o estudo comparativo das tendências centrais e variabilidade das posturas articulatórias de vários informantes, minimizando os efeitos das diferenças no tamanho e forma do tracto vocal. Para testar a metodologia usou-se análise acústica e articulatória de vogais.

Westbury, Hashi et al. (1998) utilizaram a totalidade da amostra de indivíduos falantes de Inglês Americano da XRMB-SPD para estudar a variabilidade da produção articulatória relativa ao som [r] na Língua Inglesa. Este trabalho foi retomado por Hashi, Honda et al. (2003), dado não se terem conseguido resultados conclusivos acerca dos efeitos acústicos da variação da postura da língua.

Uma das variáveis estruturais que tem suscitado interesse é o género. Simpson (2001; 2002) comparou a produção acústica e articulatória entre homens e mulheres, partindo do princípio que tendo tractos vocais de diferentes dimensões e sendo os traços acústicos semelhantes deveriam necessariamente ocorrer diferenças articulatórias. Para tal, utilizou grande parte dos sujeitos da XRMB-SPD, falantes de Inglês Americano. Recorreu a análise acústica e articulatória comparando produções de ditongos e registou algumas diferenças relacionadas com o género ao nível acústico e da velocidade e trajectória dos articuladores.

Mais recentemente, Tasko e Westbury (2004) usaram a XRMB-SPD num estudo com 18 informantes para testar a generabilidade da “power law” para movimentos articulatórios relacionados com a fala. Partiram do princípio global, já testado, de que em alguns sistemas motores humanos se verifica a “1/3 power law”, que mostra que produções motoras mais lentas se relacionam com curvas de movimento mais amplas. Analisaram parâmetros como a velocidade de movimento e a curva de trajectória.

Existe grande variedade de outros estudos na mesma área usando outras bases de dados. É o caso de Nieto-Castanon et al. (2005) em cujo trabalho, relacionado com a variabilidade articulatória para cada som, consideraram as diferenças existentes entre indivíduos, devido a variações anatómicas, e relativas a cada indivíduo isoladamente, derivada do contexto articulatório. O estudo pretendeu caracterizar a variabilidade articulatória do som [r] em provas EMMA (“Electromagnetic Midsagittal Articulator”) e compará-la com os movimentos articulatórios gerados por um modelo computacional de controlo motor da fala (DIVA model), com base em variáveis acústicas pretendidas.

Outra das áreas onde se tem investido em estudos experimentais é na capacidade de adaptação articulatória com estruturas orais artificialmente modificadas, como placas dentárias ou “bite blocks”. McFarland et al. (1996) elaboraram um estudo com base em avaliação acústica e estudo de percepção, onde se pretendia comparar duas formas de perturbação oral na articulação: “bite blocks” e palatos artificiais. Verificaram que há

diferenças acústicas e perceptivas significativas entre as produções de vogais e consoantes em condições normais e em condições de perturbação. A compensação melhora com o tempo como resultado de uma adaptação do “feedback” sensorial aos gestos articulatorios. Os padrões de compensação diferem entre “bite blocks” e palatos artificiais, sendo que os primeiros têm um maior grau de afecção. As fricativas são os sons mais susceptíveis a alterações do tracto vocal.

Baum et al. (1997) recorreram igualmente à avaliação acústica e a um estudo de percepção para examinar a capacidade dos falantes para compensar a produção de [s], aquando da inserção de um palato artificial com espessura aumentada na região alveolar, durante um breve período de treino focalizado e intensivo. Verificaram-se alterações acústicas e perceptivas significativas ao longo de 1 hora de treino, com aproximação progressiva à produção sem placa.

No estudo de Jones et al. (2003) pretendeu-se testar a influência da audição nos processos de adaptação articulatoria a alterações anatómicas induzidas. Elaborou-se uma experiência articulatoria com “bite blocks” seguida de um estudo de percepção. Verificou-se que a análise acústica não foi sensível às adaptações articulatorias que ocorreram durante a fase de treino e que os “feedback” auditivo e proprioceptivo são ferramentas importantes na capacidade de adaptação articulatoria a mudanças anatómicas.

### 1.3. ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

O presente estudo pretende descrever as características acústicas e articulatórias de cada informante seleccionado individualmente e comparar os fenómenos observados entre os vários indivíduos. Assim, são objectivos específicos do estudo:

- Desenvolver um método inovador na caracterização dos informantes que se considere adequado relativamente à *oclusão dentária*, com base nos dados existentes na XRMB-SPD;
- Descrever e comparar as propriedades acústicas e fenómenos articulatorios decorrentes da produção de sons vocálicos e consonânticos em informantes de classes de oclusão dentária e géneros diferentes;
- Relacionar as propriedades acústicas identificadas com os fenómenos articulatorios descritos;
- Relacionar os resultados obtidos com a caracterização realizada para os informantes.

O trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. O primeiro, a introdução, pretende justificar o tema, fazer uma revisão teórica breve, e introduzir o leitor na estrutura do trabalho. O segundo capítulo dedica-se exclusivamente à selecção e caracterização dos informantes, tendo como base uma reflexão teórica avançada sobre a oclusão dentária e a constituição da XRMB-SPD. Uma vez que esta base de dados não foi concebida especificamente para a investigação da *oclusão dentária*, parte significativa deste capítulo passa pela selecção e aplicação de metodologias que permitam tirar o maior partido possível dos dados disponíveis para os objectivos em questão. No terceiro capítulo, revê-se a literatura relacionada com a produção de sons vocálicos, selecciona-se um corpus adequado a uma análise acústica e articulatória, e apresenta-se os resultados. O quarto capítulo tem a mesma estrutura, sendo dedicado a sons consonânticos. Por último, no quinto capítulo relacionam-se os resultados dos capítulos anteriores e apresentam-se as respectivas conclusões.



## CAPÍTULO 2

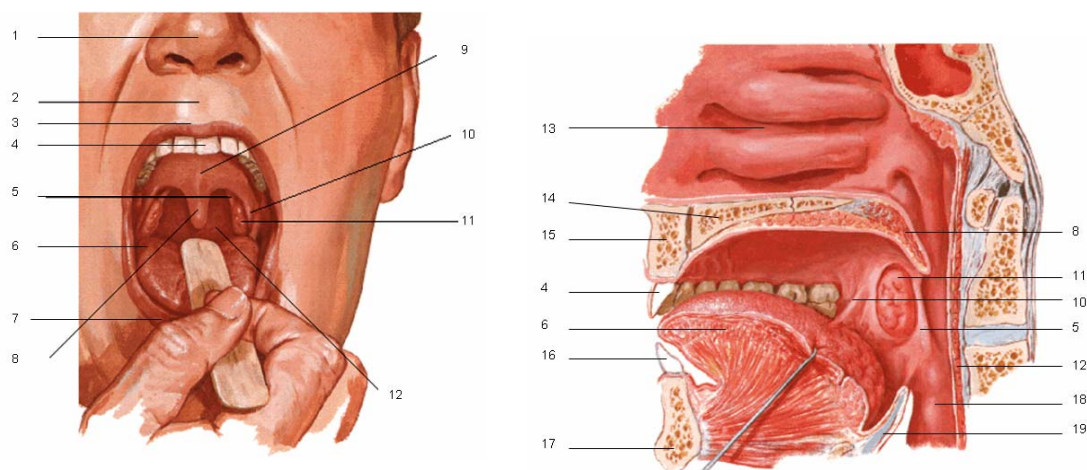
### SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

#### 2.1. INTRODUÇÃO

##### 2.1.1. Oclusão Dentária

###### 2.1.1.1. Classificação de oclusão dentária

Na avaliação da oclusão dentária usa-se por norma a classificação de Angle (1907), que definiu a linha de oclusão, caracterizada pela coincidência entre a linha mesiodistal das cúspides vestibulares da arcada dentária mandibular e a linha das fossas centrais da arcada dentária superior, estando os dentes ocluídos. Segundo Angle (1907), os dentes de referência nesta avaliação são os primeiros molares permanentes, cuja relação molar superior/molar inferior vai servir para traçar a relação sagital das arcadas dentárias (Bianchini, 2002). Na Figura 2.1 estão representadas as várias estruturas orofaciais, entre as quais as arcadas dentárias cuja relação determina o tipo de oclusão dentária.

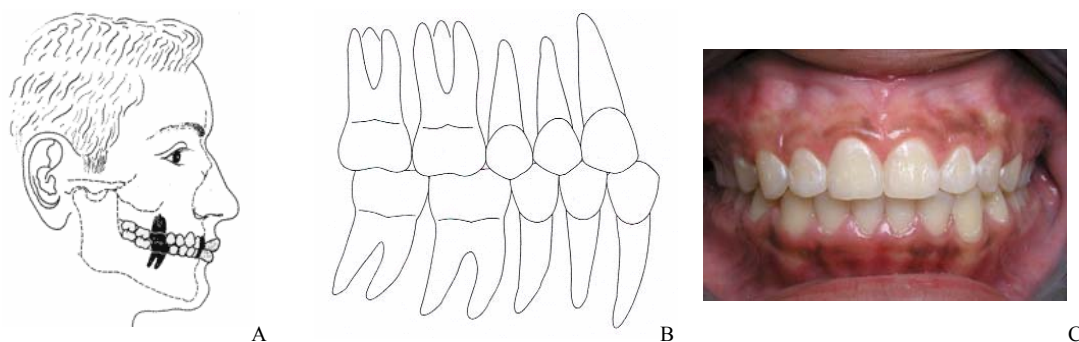


**Figura 2.1** Estruturas orofaciais: imagem frontal (à esquerda) e corte sagital (à direita), onde: 1. Nariz; 2. Filtro do lábio; 3. Lábio superior; 4. Dentes da arcada superior; 5. Pilar posterior; 6. Língua; 7. Lábio inferior; 8. Úvula; 9. Palato mole; 10. Pilar anterior; 11. Amígdala; 12. Parede posterior da faringe; 13. Cavidade nasal; 14. Palato duro; 15. Maxila; 16. Dente da arcada inferior; 17. Mandíbula; 18. Faringe; 19. Epiglote. Adaptado de Netter (1995).

A *normocclusão*, ou *occlusão neutra* é definida por uma relação mesiodistal em que a cúspide mesiovestibular do primeiro molar permanente superior oclui no sulco vestibular do primeiro molar permanente inferior (Zemlin, 2000; Bianchini, 2002) (ver Figura 2.2-A e B). A harmonia entre as arcadas observa-se igualmente na região anterior caracterizada no adulto por uma ligeira projecção anterior dos incisivos centrais superiores sobre cerca de 1/3 da face vestibular dos inferiores (Guimarães, 1995), tal como se apresenta na Figura 2.2-C.

A classificação de maloclusões proposta por Angle (1907) inclui três grupos e algumas divisões: Classe I, Classe II (divisão 1, divisão 2 e sub-divisão) e Classe III (sub-divisão). De uma forma geral a classe dentária é avaliada pela relação molar, sendo as divisões relacionadas com outras variações dentárias observadas.

A *malocclusão de Classe I* é caracterizada por uma relação molar correcta, pelo que é frequentemente considerada semelhante à neutroclusão (Daskalogiannakis, 2004). A diferença reside apenas na existência de apinhamentos dentários na região anterior (Zemlin, 2000; Bianchini, 2002). “O termo Classe I é por vezes indevidamente utilizado como sinónimo de oclusão normal, uma vez que na realidade ele significa exclusivamente uma relação normal dos primeiros molares permanentes inferiores e superiores no plano sagital” (Daskalogiannakis, 2004). Na XRMB-SPD verifica-se esta imprecisão na classificação dos informantes (ver Secção 2.1.2.).

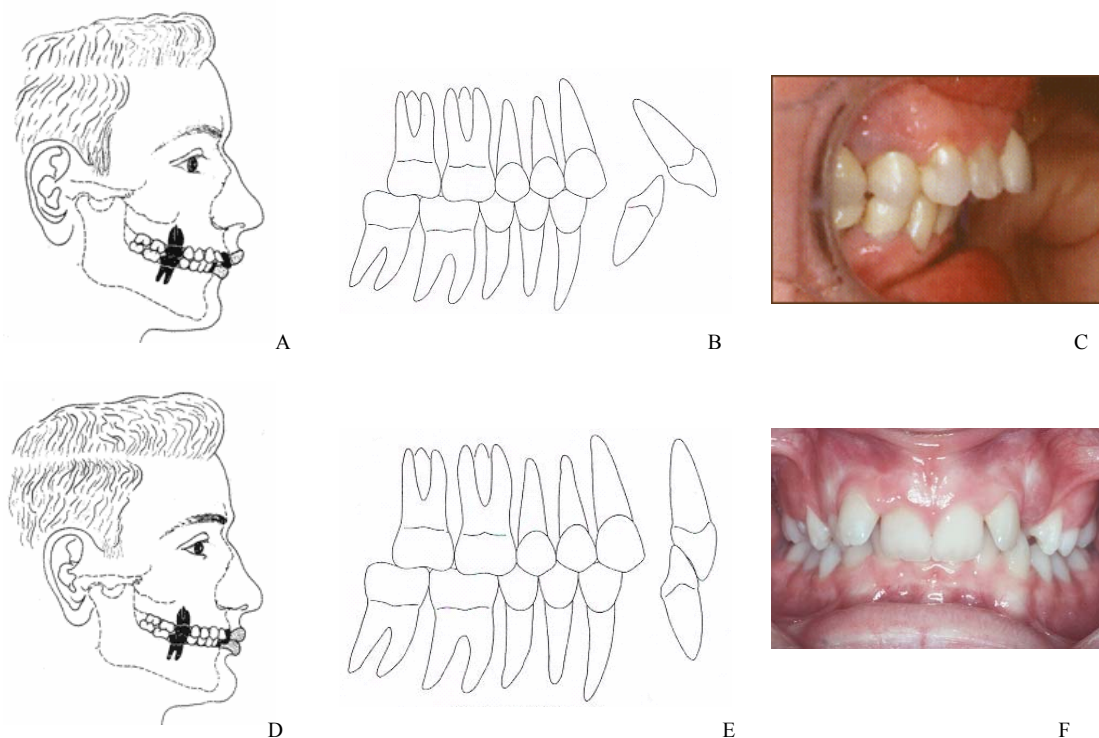


**Figura 2.2** Oclusão normal / Malocclusão de Classe I (A, B e C). De Nojima e Gonçalves (2001), Daskalogiannakis (2004) e Ashouri e Wadden (2006).

A *malocclusão de Classe II*, ou *distocclusão*, é caracterizada pela oclusão entre a cúspide distopalatina do primeiro molar permanente superior e o sulco mesiolingual do primeiro molar inferior, fazendo com que a arcada inferior se encontre em posição

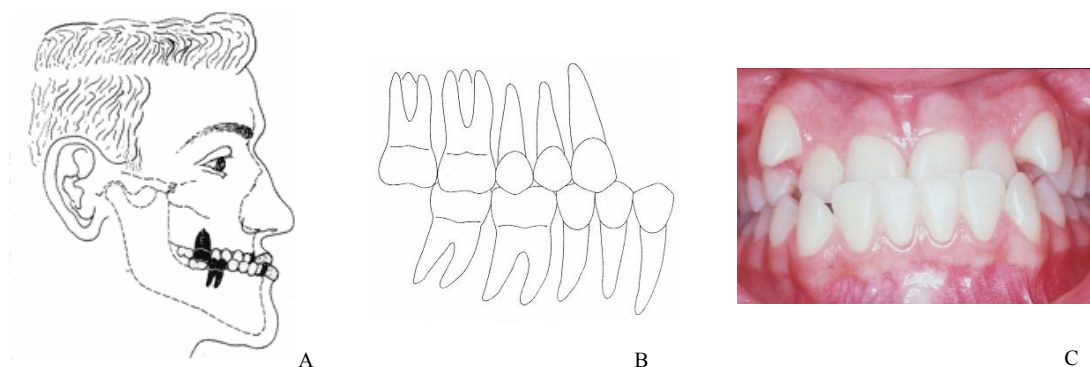


distalizada relativamente à superior (Hanson e Barret, 1995; Bianchini, 2002) (ver Figura 2.3-A e D). Na *divisão 1* os quatro incisivos superiores estão anteriorizados em inclinação vestibular (“overjet” aumentado) em relação aos inferiores (ver Figura 2.3-B e C). Marchesan (1998) refere que este tipo de oclusão está frequentemente relacionado com deglutição atípica e maus hábitos orais, entre os quais sucção digital, podendo ter associadas alterações articulatórias quanto à produção das fricativas [s] e [z]. Bianchini (2002) acrescenta que esta postura dentária está frequentemente associada a hipofunção labial e hiperfunção do mento, bem como hábitos orais como a sucção digital ou respiração bucal. Na *divisão 2* os incisivos centrais superiores estão em posição vertical, os laterais estão em inclinação vestibular e dependendo das variantes é frequente a supraocclusão (ver Figura 2.3-E e F). Nesta divisão não é tão frequente a ocorrência de alterações ao nível da musculatura labial. A *subdivisão* é classificada quando a *Classe II* se observa unilateralmente, estando a relação molar contralateral normal. É importante determinar adequadamente as divisões, uma vez que as compensações funcionais dependem destas, podendo marcar diferenças na própria fala (Bianchini, 2002).



**Figura 2.3** Malocclusão de Classe II: Divisão 1 (A, B e C) e Divisão 2 (D, E e F). De Nojima e Gonçalves (2001), Daskalogiannakis (2004) e Ashouri e Wadden (2006).

A *maloclusão de Classe III* ou *oclusão mesial* ocorre quando os primeiros molares inferiores se relacionam mesialmente em relação aos superiores, traduzindo-se numa anteriorização da arcada inferior em relação à superior (ver Figura 2.4). É frequente o cruzamento das arcadas ao nível anterior, o que implica que a postura em repouso dos lábios e língua se encontre alterada, e a actividade funcional dos mesmos seja adaptada nas várias funções estomatognáticas (camuflagem dento-musculo-esquelética). A pressão labial e lingual acontece de forma exacerbada na deglutição e há distorção dos sons da fala, em especial as fricativas (Bianchini, 2002). A *subdivisão* verifica-se, em analogia à anterior, quando a relação molar de Classe III é observada apenas unilateralmente, sendo normal nos primeiros molares contralaterais.



**Figura 2.4** Maloclusão de Classe III com mordida cruzada anterior. De Nojima e Gonçalves (2001), Daskalogiannakis (2004) e Ashouri e Wadden (2006).

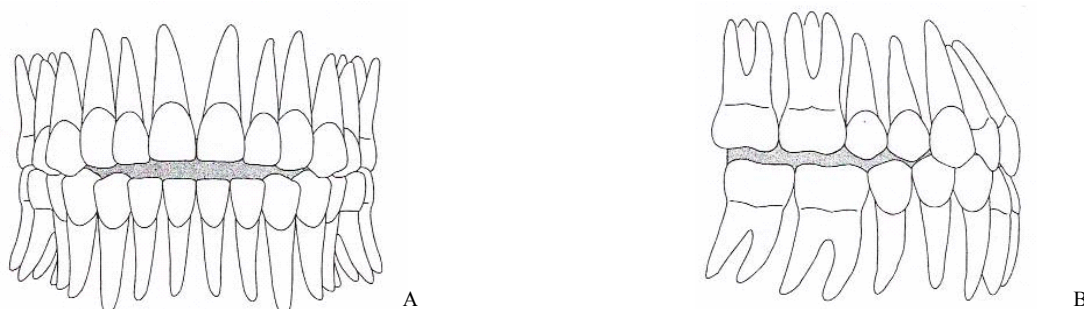
Apesar de ser amplamente utilizada, a classe de oclusão dentária segundo Angle (1907) serve apenas como base para um diagnóstico, uma vez que não leva em consideração outras importantes relações anteroposteriores (ex. sobressaliência, relação de caninos), transversas (ex. mordidas cruzadas posteriores) ou verticais (ex. supraoclusão), nem identifica problemas interarcadas como apinhamentos (Daskalogiannakis, 2004). Assim, é necessário ter também em conta outros factores que caracterizem a estrutura esquelética da face, de modo a compreender melhor as adaptações funcionais esperadas, quer em repouso, quer em função (Bianchini, 2002).

Uma outra terminologia utilizada na definição da oclusão é a mordida, que pode apresentar várias configurações e ter influência na fala. A mordida aberta (ver Figuras 1.2 e 2.5) é uma maloclusão de desenvolvimento ou adquirida, na qual não existe trespasse vertical entre os dentes maxilares e mandibulares a nível anterior (mordida aberta anterior)

ou posterior (mordida cruzada posterior). Uma mordida aberta pode ser localizada, envolvendo poucos dentes, devido ao hábito de sucção digital ou a outros hábitos orais (mordida aberta dentária), ou pode ser causada pela divergência dos planos esqueléticos (mordida aberta esquelética ou suboclusão) (Daskalogiannakis, 2004).

A mordida profunda é igualmente um tipo de maloclusão na qual, ao contrário da anterior, o encobrimento vertical dos dentes anteriores está além da relação ideal, pelo que também é denominada de sobremordida excessiva ou mordida fechada. Esta mordida é frequentemente associada à diminuição das dimensões verticais faciais anteriores (Daskalogiannakis, 2004).

A mordida cruzada refere-se a um relacionamento anormal de um ou mais dentes de uma arcada com um ou mais dentes da arcada oposta, em direcção vestibular. A etiologia desta mordida pode ser dentária ou esquelética. Já a mordida topo-a-topo é um tipo de relação oclusal comum em maloclusões de classe III, no qual os incisivos superiores e inferiores entram em contacto através dos seus bordos incisais (Daskalogiannakis, 2004).



**Figura 2.5** Mordida aberta anterior (A) e posterior (B). De Daskalogiannakis (2004).

#### **2.1.1.2. Tipologia Facial**

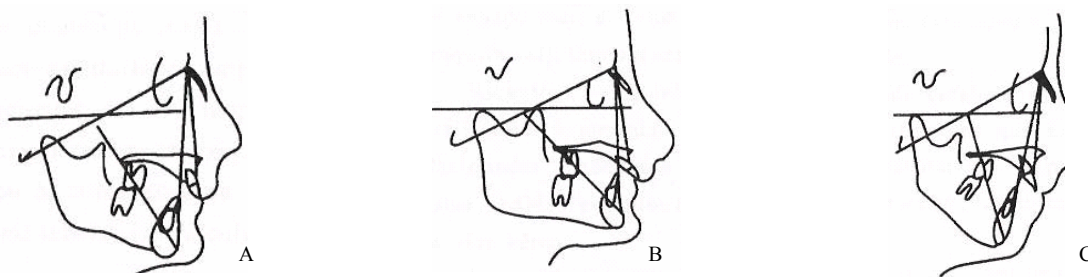
A avaliação da configuração facial é fundamental para complementar as informações acerca da oclusão dentária e compreender a forma como o esqueleto craniofacial a influencia. Assim, é possível uma avaliação baseada na observação directa e em medições externas, podendo ser objectivada pela radiografia cefalométrica de forma a obter resultados mais precisos. Os parâmetros a avaliar ao nível da tipologia facial são: padrão facial vertical e padrão facial sagital ou antero-posterior.

A análise do padrão facial vertical faz-se por observação e medição dos três terços da face: o terço superior, medido do ponto triquion (na região da raiz do cabelo) à glabella (na região superior do dorso do nariz); o terço médio, medido da glabella ao ponto subnasale (na base do nariz); o terço inferior, medido do ponto subnasale ao ponto menton (no queixo). Existem três padrões faciais verticais: *mesofacial*, *braquifacial* e *dolicofacial*.

O padrão *mesofacial*, ou *face média*, é caracterizado por um equilíbrio equidistante entre os terços faciais (ver Figura 2.6-A), relacionando-se normalmente com um bom equilíbrio muscular e uma oclusão dentária de Classe I com arcadas dentárias em forma ovalada (Bianchini, 2002).

O padrão *braquifacial*, ou *face curta*, caracteriza-se por um terço inferior da face reduzido, pelo que frequentemente se apresenta associado a supraoclusão, arcadas dentárias alargadas, musculatura forte ao nível dos masseteres e lábios finos (ver Figura 2.6-B). São por vezes observadas algumas alterações articulatórias associadas a este padrão, nomeadamente deslizamento anterior da mandíbula durante a fala e sigmatismo lateral (Bianchini, 2002).

No terceiro padrão facial vertical, *dolicofacial* ou *face longa*, observa-se um terço inferior da face aumentado que normalmente está na base de alterações dentárias como a mordida aberta anterior (ver Figura 2.6-C). As arcadas dentárias são frequentemente longas e estreitas e a musculatura está estirada, com hipofunção do lábio inferior e hiperfunção do mento na oclusão labial. Esta configuração esquelética potencia uma postura inadequada da língua em repouso, bem como mastigação e deglutição inadequadas o que proporciona frequentemente a existência de perturbações articulatórias (Bianchini, 2002).



**Figura 2.6** Diferentes padrões de tipologia facial vertical: (A) Mesofacial + Tipo II; (B) Braquifacial + Tipo II; (C) Dolicofacial + Tipo II. Adaptado de Bianchini (2002).

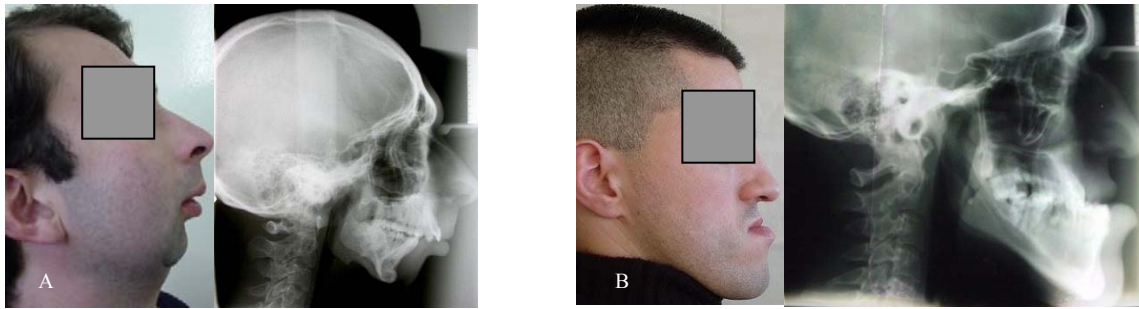
O padrão facial sagital ou antero-posterior é avaliado tendo em conta o perfil facial e a relação entre a base craniana, a maxila e a mandíbula. A nomenclatura dos vários tipos é derivada da classificação da oclusão dentária: *tipo classe I*, *tipo classe II* e *tipo classe III*.

O padrão *tipo classe I* apresenta um perfil recto (em indo-caucasianos), representativo de alinhamento na relação maxilomandibular. Neste padrão há usualmente um bom equilíbrio postural das várias estruturas musculares pelo que as maloclusões relacionadas são de *Classe I*, ou seja, de origem dentária (Bianchini, 2002).

O segundo padrão, *tipo classe II* ou *classe II esquelética*, caracteriza-se por um perfil facial convexo que pode derivar de vários desequilíbrios esqueléticos: maxila normal e mandíbula recuada (retrognatismo); maxila avançada e mandíbula normal; maxila avançada e mandíbula recuada; ou maxila e mandíbula recuadas, “*bird-face*” (ver Figura 2.7-A). Este padrão esquelético comporta uma redução do espaço intra-oral e faríngeo antero-posterior, pelo que se podem verificar alterações posturais e funcionais, nomeadamente: lábio superior elevado e hipofuncional, músculos do mento em hiperfunção, dorso da língua em posição elevada, deslizamento mandibular anterior na função, anteriorização e elevação da cabeça, deglutição atípica e distorções em alguns sons da fala (Bianchini, 2002).

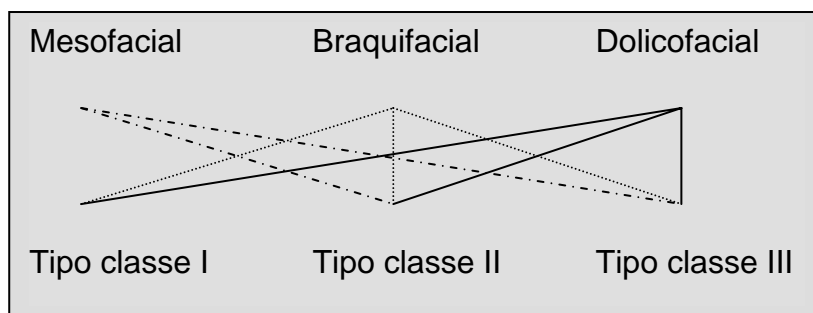
O padrão *tipo classe III* ou *classe III esquelética* apresenta um perfil facial côncavo em que a mandíbula está adiantada em relação à maxila, o que se pode explicar por diferentes relações: maxila normal e mandíbula avançada; maxila recuada e mandíbula normal; ou maxila recuada e mandíbula avançada (ver Figura 2.7-B). Neste padrão verifica-se um aumento do espaço intra-oral antero-posterior, havendo alterações posturais e funcionais a registar: mordida cruzada anterior, oclusão do lábio superior com os incisivos inferiores, língua em posição rectificada no pavimento da boca, mastigação com movimentos predominantemente verticais, deglutição atípica, perturbações articatórias com alguns processos de substituição (Bianchini, 2002).

A conjugação entre estes dois padrões de tipologia facial, vertical e sagital, parece ser um forte indicador de quais as áreas existentes a nível intra-oral, qual a postura em repouso das estruturas musculares, qual a influência do padrão esquelético na oclusão dentária, quais os padrões de movimento existentes nas várias funções estomatognáticas, e quais os sons da fala com maior propensão para processos de substituição, distorção ou compensação.



**Figura 2.7** Padrão facial sagital. De Arquivo Clínico gentilmente cedido pelo Dr. Rui Costa e Sousa.

Uma boa avaliação é fundamental para compreender estes factores, uma vez que a diversidade encontrada pode ser muita, tal como pode ser observado na Figura 2.8. A conjugação de padrões considerada mais equilibrada é a que acontece em indivíduos com padrão vertical *mesofacial* e sagital *tipo classe I*. Todas as restantes combinações podem resultar em alterações faciais de maior ou menor grau, quer a nível estético quer funcional.



**Figura 2.8** Diferentes combinações possíveis entre padrões de tipologia facial vertical e sagital. Adaptado de Bianchini (2002).

### 2.1.1.3. Cefalometria

A radiografia cefalométrica é uma técnica de aquisição radiográfica que gera imagens a partir das quais é possível fazer medidas das estruturas cranio-facio-cervicais (ver Figura 2.9-A). A análise cefalométrica é baseada em traçados desenhados com base em pontos antropométricos e planos que permitem obter medidas lineares, angulares e áreas, possibilitando avaliar a forma e o tamanho das estruturas craniofaciais e dentárias de um indivíduo num determinado momento e servir de termo de comparação com análises cefalométricas posteriores (Athanasίου, 1995). Estes dados tornam-se especialmente relevantes no estudo funcional da fala, uma vez que fornecem informações específicas

quanto à relação espacial existente entre as estruturas craniofaciais e os articuladores móveis (Bianchini, 2002).

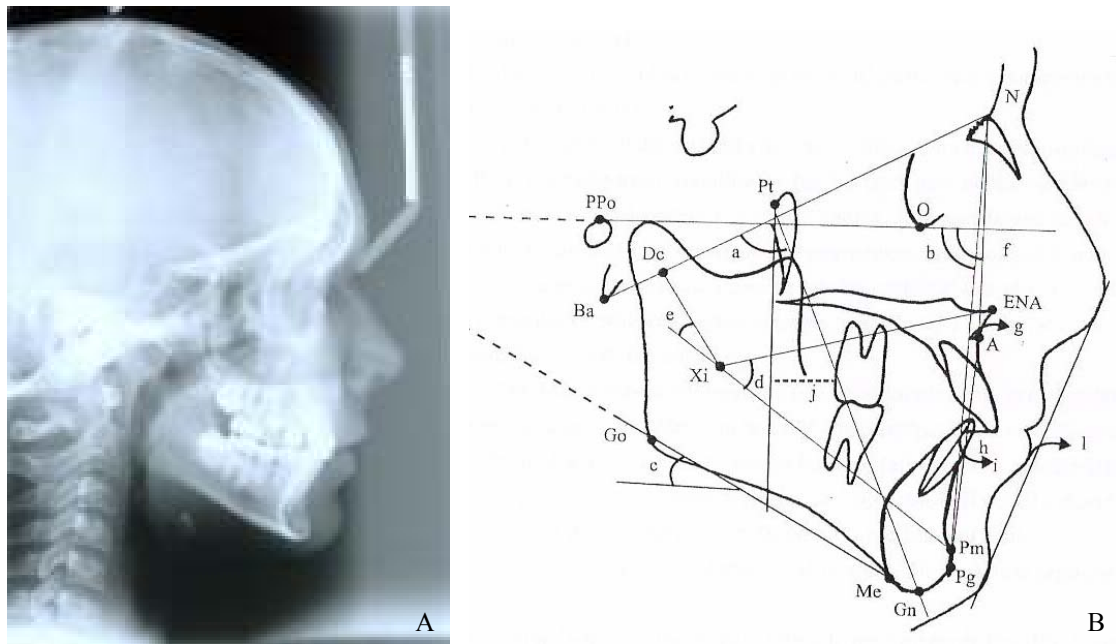
Podem-se descrever com alguma precisão os contornos das estruturas moles e a localização dos pontos cefalométricos, pontos pré-definidos da estrutura óssea que permitem comparar a configuração esquelética de cada indivíduo com dados normativos. São traçados linhas e planos através dos quais se determinam ângulos e distâncias, que vão ser indicadores das relações entre as várias estruturas esqueléticas do crânio, face e região cervical (Zemlin, 2000; Bianchini, 2002). A compreensão do posicionamento das estruturas e da área disponível para as funções estomatognáticas é essencial para uma correcta compreensão dos processos articulatorios da fala tal como o que se pretende no presente estudo.

É vasta a quantidade de pontos, traçados, ângulos e métodos de análise possíveis na cefalometria, pelo que actualmente se encontra alguma divergência relativamente à definição de quais os mais válidos (Silva, 2005). Dada a limitação de informação disponível na XRMB-SPD far-se-á um levantamento dos que mais se aproximam aos existentes na nossa base de dados (que serão descritos na Secção 2.1.2.), de forma a traçar paralelismos e encontrar uma metodologia de análise que permita uma caracterização optimizada da nossa amostra, tendo em conta os objectivos do estudo.

Após rever a literatura existente acerca de vários métodos de análise cefalométrica (Daskalogiannakis, 2004), optamos por proceder à descrição mais detalhada da análise cefalométrica segundo Ricketts (Athanasίου, 1995), uma vez que se aproxima mais aos dados disponíveis na XRMB-SPD, que está na base do presente estudo. Esta análise, ilustrada na Figura 2.9-B, define cinco factores descritivos da tipologia facial: eixo facial, altura facial, ângulo ou profundidade facial, ângulo do plano mandibular, altura facial inferior e arco mandibular (Bianchini, 2002).

Os pontos anatómicos utilizados nesta análise (ver Figura 2.9) são: násion (N), orbitale (O), espinha nasal anterior (ENA), ponto “A” (A), pogónion (Pg), gnátion (Gn), menton (Me), gonion (Go), póron (Po), protuberância mentale (Pm), básion (Ba), pterion (Pt) e condilar (Dc). Acresce-se ainda um ponto cefalométrico, o centro do ramo da mandíbula (Xi), que é calculado e não anatómico (Athanasίου, 1995; Bianchini, 2002). Como se pode observar, esta análise apresenta uma boa descrição da mandíbula, o que também acontece na XRMB-SPD.





**Figura 2.9** Radiografia cefalométrica (A) e análise cefalométrica segundo Ricketts (B): (a) eixo facial, (b) profundidade facial, (c) ângulo do plano mandibular, (d) altura facial inferior e (e) arco mandibular. De Bianchini (2002).

O *eixo facial* é indicativo da relação da altura facial com a profundidade da face, bem como da direcção de crescimento do mento, e obtêm-se pelo ângulo formado pelo plano *básion-násion* (*Ba\_Na*), representativo da base craniana, e pela linha *Pt\_Gn*. O valor normativo é de  $90^\circ \pm 3$ , sendo que quando o ângulo se encontra acima destes valores há tendência para uma mandíbula prognata e quando se encontra abaixo dos mesmos há tendência a mandíbula retrognata (Athanasίου, 1995; Bianchini, 2002).

A *profundidade facial* (representada por  $Po_{Or} \wedge Na_{Pg}$ ) é obtida pelo ângulo entre o plano de *Frankfurt* ( $Po_{Or}$ ), referência da base craniana, e o plano facial ( $Na_{Pg}$ ), e permite determinar se a maloclusão se deve à mandíbula, pelo que um ângulo diminuído indica mandíbula retrognata e um ângulo aumentado, mandíbula prognata (Athanasίου, 1995; Bianchini, 2002).

O *ângulo do plano mandibular* ( $Po_{Or} \wedge Go_{Me}$ ) permite inferir se o tipo facial vertical se deve à mandíbula, e corresponde ao ângulo entre o plano de *Frankfurt* ( $Po_{Or}$ ) e o plano mandibular ( $Go_{Me}$ ). Neste caso, o padrão dolicofacial é traduzido por um ângulo aumentado e o braquifacial por um ângulo reduzido (Athanasίου, 1995; Bianchini, 2002).



A *altura facial inferior* ( $ENA\_Xi^{Xi\_Pm}$ ) é calculada entre a linha  $ENA\_Xi$  e a linha eixo do ramo da mandíbula ( $Xi\_Pm$ ) e permite avaliar a relação esquelética para a infraoclusão e supraoclusão. Valores altos são indicativos de infraoclusão esquelética e valores baixos de supraoclusão (Athanasiou, 1995; Bianchini, 2002).

Por último, o *arco mandibular* é o parâmetro que melhor descreve a mandíbula, já que está relacionado com a sua forma interna, informando-nos se ela é mesiofacial, dolicofacial ou braquifacial (Bianchini, 2002, p. 66). É avaliado pelo ângulo entre a linha do eixo condilar ( $DC\_Xi$ ) e a linha eixo do ramo da mandíbula ( $Xi\_Pm$ ), sendo que um ângulo aumentado é sinal de face do tipo braquifacial com predominância de supraoclusões e um ângulo diminuído é sinal de face dolicofacial com tendência a infraoclusões.

### 2.1.2. Descrição da XRMB-SPD

O *X-ray Microbeam* é uma técnica imagiológica, inventada e testada pela equipa de Fujimura na Universidade de Tóquio entre 1973 e 1975, que permite produzir representações parametrizadas de vários pontos anatómicos estáticos e dinâmicos. Este sistema foi utilizado na Universidade de Wisconsin, nos Estados Unidos da América, e deu origem a uma base de dados alargada (Westbury, 1994), utilizada no decorrer deste projecto, a *X-ray Microbeam Speech Production Database* (XRMB-SPD). Esta base de dados foi criada e idealizada para estudar várias tarefas motoras orais, num número relativamente grande de indivíduos, de forma uniformizada e suficientemente completa que pudesse ser a base de trabalho de estudos de investigação. Na origem da criação desta base de dados estiveram os seguintes objectivos:

- Obter dados normativos estatisticamente significativos na área dos movimentos articulatorios da fala, de forma a poder estabelecer comparações com perturbações articulatorias;
- Desenvolver teorias de produção de fala, uma vez que antes de tentar explicar qualquer fenómeno é essencial descrevê-lo;
- Fornecer e partilhar informações com outros centros de investigação para desenvolvimento de estudos de maiores dimensões (Westbury, 1994).

A XRMB-SPD foi desenvolvida segundo dois princípios: ser suficientemente completa para representar a maioria das tarefas motoras e linguísticas que um falante realiza numa situação real; ser suficientemente redundante de forma a permitir a redução da variabilidade interna de cada informante nos estudos realizados. A escolha das tarefas teve em conta três princípios: precedentes históricos, baseados nas tarefas desenvolvidas em estudos anteriores; relevância e aplicação clínica; representatividade, relativamente a aspectos fonéticos e linguísticos (Westbury, 1994).

A base de dados é constituída por 118 tarefas distintas realizadas por 57 indivíduos caracterizados de forma extensiva. Para além da grande variabilidade de provas fonatórias e não fonatórias, a XRMB-SPD caracteriza-se pelo registo multimodal de informação: áudio, electroglotografia (EGG) e XRMB. Este último sinal é obtido através da aquisição de coordenadas espaciais dos vários articuladores ao longo do tempo, por meio de eléctrodos colocados em vários pontos dos mesmos. É possível a visualização dos movimentos articulatorios num gráfico bidimensional XY gerado pelo programa *TF32* (Milenkovic, 2001), ou através de transferência dos dados para outros programas (Westbury, 1994).

#### **2.1.2.1. Caracterização da população da XRMB-SPD**

Dos 57 falantes que fazem parte da base de dados, 32 são mulheres e 25 são homens, com idade média de 21 anos. Todos os informantes são falantes de Inglês Americano sendo a maioria falantes do dialecto de “Upper Midwest”. A caracterização de todos os informantes é extensa, incluindo parâmetros como: peso, altura, habilitações académicas, domínio de línguas, estado e cidade de nascimento, estado e cidade do seu dialecto de base, estado e cidade de residência.

São ainda descritas informações específicas acerca da dentição: oclusão dentária, falta de dentes, saúde dentária e da articulação temporomandibular (ATM). Relativamente aos dois últimos parâmetros, cada informante foi caracterizado relativamente ao comportamento da ATM e a auto-relatos respeitantes à mesma, tendo a saúde dentária sido descrita com base em tratamentos cirúrgicos e ortodônticos efectuados.

#### **2.1.2.2. Propriedades do Corpus**

O Corpus que constitui a XRMB-SPD é composto por tarefas variadas, quer verbais, quer não-verbais. Estas foram agrupadas e organizadas em ficheiros separados com uma codificação própria que inclui o número da tarefa. A listagem das tarefas, bem como o tempo de gravação de cada uma está disponível no manual de utilização da base de dados (Westbury, 1994).

A construção do Corpus teve por base três princípios: os precedentes históricos, ou seja, Corpus usados noutros estudos de fala conhecidos; a relevância e aplicação clínica; e a representatividade, de forma a poder estudar diferentes fones, sequências de fones, tipos de discurso, e variações supra-segmentais.

As tarefas incluem então: discurso encadeado em leitura de textos (13%), contagens e sequências de números (6%), tarefas motoras orais (8%), leitura de palavras, não-palavras, sons e sequências de sons (33%), leitura de frases (40%).

A transcrição fonética de todas as tarefas é incluída no manual de utilização, embora não tenha sido utilizado o Alfabeto Fonético Internacional, mas sim um alfabeto alternativo, o DARPABET, que é igualmente descrito no manual (Westbury, 1994).

#### **2.1.2.3. Caracterização do sistema XRMB**

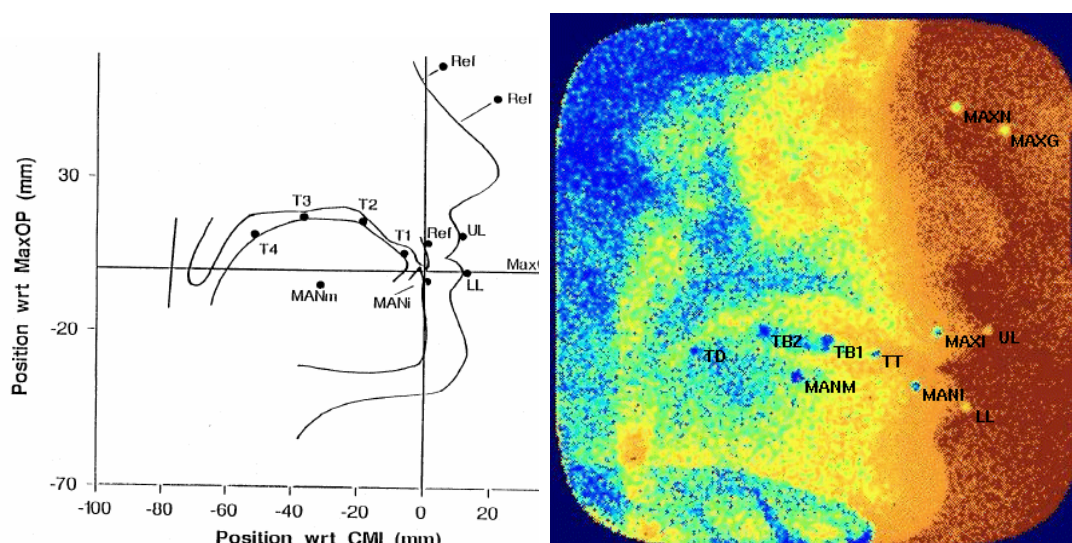
Para o estudo dos dados articulatórios do sistema XRMB é fundamental compreender com clareza a localização (dos eléctrodos) e forma de aquisição de cada um dos parâmetros recolhidos. De uma forma sucinta existem dados estáticos e dinâmicos relativos a várias estruturas do sistema estomatognático, que em conjunto permitem fazer uma leitura dos movimentos articulatórios incluídos nas provas fonatórias da base de dados, mas também estudar com mais precisão a constituição anatómica do sistema de produção de fala de cada indivíduo, e da amostra de uma forma geral. Para tal, têm especial relevância os dados estáticos que utilizaremos para caracterizar e seleccionar a amostra na fase inicial do estudo.

##### **2.1.2.3.1. Sistema de referência**

Os *eléctrodos de referência* serviram numa fase inicial da criação da XRMB-SPD para determinar em cada informante um plano sagital que cruzasse a linha média da face e

das estruturas coarticulatórias. Foram então colocados três eléctrodos (ver Figura 2.10): MAXn, localizado no dorso do nariz, na região da glabella; MAXi, localizado na face vestibular dos incisivos centrais superiores, no espaço interdentário mediano superior, ao nível do sulco gengivo-dentário (ponto supradentale); e MAXg, localizado no dorso do nariz, mais abaixo que MAXn, ou alinhado com este através da colocação do eléctrodo numa haste vertical suspensa a uns óculos. Estes três pontos formam um triângulo que representa o *plano sagital médio*. No entanto, as suas coordenadas não estão disponíveis entre os dados fornecidos pelos criadores da XRMB-SPD, pelo que não puderam ser consideradas em potenciais parâmetros a utilizar no presente estudo.

Seguidamente ao plano sagital médio, obteve-se o *plano oclusal do maxilar superior* (MaxOP), obtido por pelo menos três pontos: o primeiro relativo ao bordo incisal dos incisivos centrais superiores (localizado na origem dos eixos na Figura 2.10) e os restantes medidos bilateralmente em dois outros dentes superiores, primeiros ou segundos molares (representados na Figura 2.12), em função das condições dentárias de cada informante.



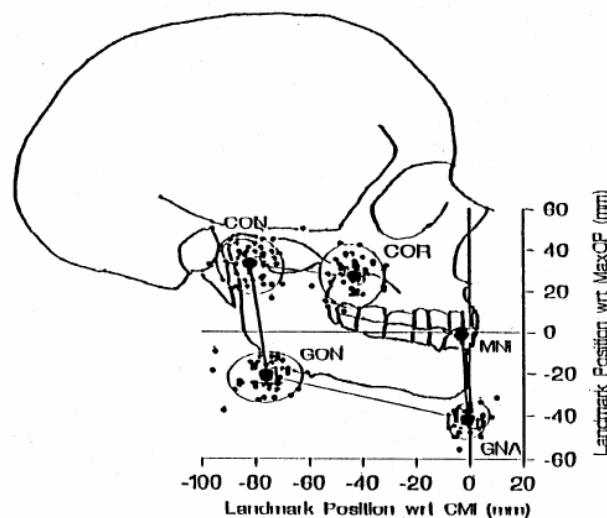
**Figura 2.10** Sistema de eixos da XRMB-SPD com localização dos três eléctrodos de referência (Ref) e dos restantes eléctrodos móveis nas estruturas orofaciais (à esquerda) e imagem de *X-ray Microbeam* com a identificação dos mesmos eléctrodos. De Westburry (1994, p.37) e Myers (1995).

Com base nestes planos criou-se um sistema de eixos que permitiu a leitura relativa de todos os eléctrodos e pontos obtidos posteriormente. A origem deste sistema localiza-se no bordo incisal dos incisivos centrais maxilares, onde se cruzam: o *eixo xx*,

correspondente ao MaxOP, extrapolado para o nível do plano sagital médio; e o *eixo yy*, determinado por uma linha perpendicular ao *eixo xx* que passa na origem e pertence ao plano sagital médio.

#### 2.1.2.3.2. Dados estáticos

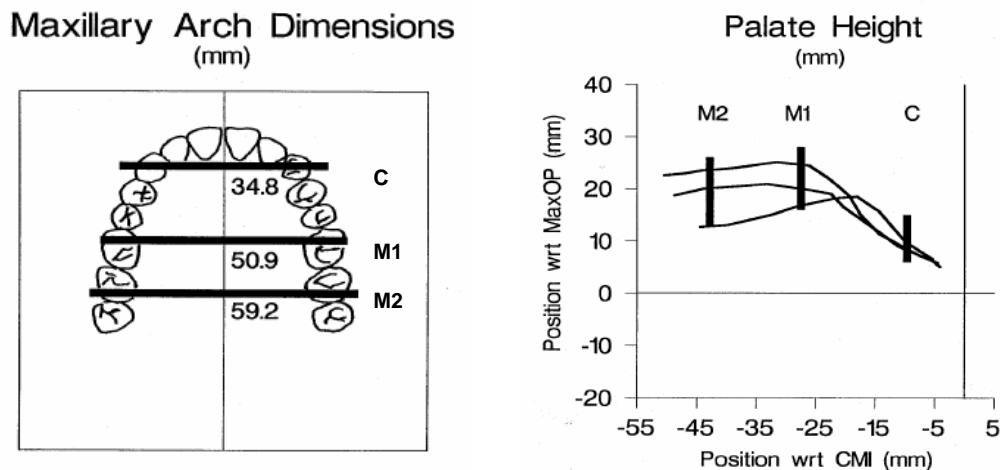
Relativamente à caracterização dos informantes foram obtidas algumas *medidas antropomórficas* que podem ser importantes para o presente estudo. Através de radiologia convencional mediu-se o tamanho e a forma do crânio e da mandíbula. Quanto às medidas da mandíbula são descritos vários pontos, no sistema de eixos craniano (ver Figura 2.11): condilion (CON), o ponto mais postero-superior do condilo mandibular; processo coronóide (COR); gónion ou goníaco (GON); gnátion (GNA) e bordo incisal dos incisivos mandibulares. As coordenadas destes pontos foram medidas com base no sistema de eixos predefinido e foram disponibilizadas pelos criadores da XRMB-SPD, para todos os sujeitos estudados.



**Figura 2.11** Distribuição de medidas antropomórficas da mandíbula com base em radiologia convencional. De Westburry (1994, p.29).

Considerando o plano MaxOP foram realizadas medições das arcadas dentárias. Para tal, fabricaram-se modelos da dentição de cada informante a partir de moldes das suas arcadas superior e inferior. A *oclusão dentária* foi determinada a partir destes modelos e classificada segundo Angle. A *falta de dentes* foi anotada usando o Sistema de Numeração Universal. Quanto às *medidas dentárias*, foi calculada a largura e comprimento da arcada

maxilar a partir de três pares de pontos bilaterais de referência (ver Figura 2.12): caninos (C), cúspide mesio-palatina do primeiro molar (M1) e cúspide disto-palatina do segundo molar (M2). Foram também determinadas medidas relativas a “overjet” (vestibularização) e “overbite” (supraocclusão) incisivos, e determinada a configuração do palato na vertical a partir de cada uma das 3 linhas de referência.

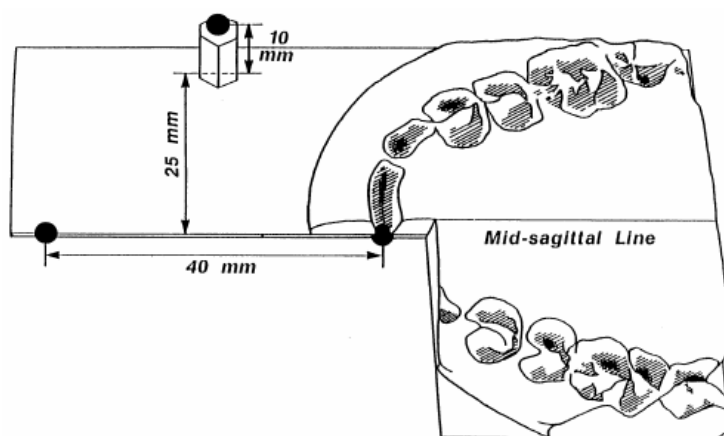


**Figura 2.12** Medidas da arcada dentária maxilar e da altura do palato. De Westburry (1994, p.27).

O sistema de coordenadas, com origem no bordo incisal dos incisivos maxilares, foi também obtido a partir destes moldes, uma vez que serviu para criar para cada informante uma placa de calibração com eléctrodos de referência para o plano MaxOP durante as tarefas de fala. Esta placa foi fixada nos três pontos acima descritos (incisivo superior e primeiros ou segundos molares bilaterais) e serviu de referência na aquisição dos sinais, uma vez que também era o suporte de uma extensão de alumínio de cerca de 40 mm projectada para fora da cavidade oral, que continha um quarto eléctrodo, e que representava o eixo xx. Este mecanismo foi fundamental para determinar tridimensionalmente a posição da cabeça de cada indivíduo em cada momento das provas fonatórias em relação ao sistema de aquisição dos sinais, de forma a posteriormente permitir a normalização de todas as coordenadas obtidas.

As coordenadas da *linha média do palato (PAL)* são fundamentais para compreender os limites superiores da cavidade oral, bem como para observar adequadamente os pontos de articulação em que o palato está envolvido. Estas coordenadas

foram obtidas por dois métodos diferentes, sendo que na maioria dos informantes tiveram base no modelo fabricado para o estudo da dentição. No modelo incluíram-se eléctrodos ao longo da linha média do palato artificial cujas coordenadas foram lidas em relação à placa de calibração (ver Figura 2.13). Nos restantes casos, as coordenadas obtiveram-se por *X-ray Microbeam*, tendo-se efectuado varrimento lento da linha média do palato com um eléctrodo manipulado. Em ambas as metodologias não foram obtidas as medidas mais posteriores do palato, embora possam ser calculadas algumas aproximações através das posições extremas de T4 (o eléctrodo lingual mais posterior) em sons com pontos de articulação posterior. Estes dados estão disponíveis para cada informante num ficheiro com o nome PAL.



**Figura 2.13** Constituição e localização da placa de calibração em relação à arcada superior. De Westburry (1994, p.44).

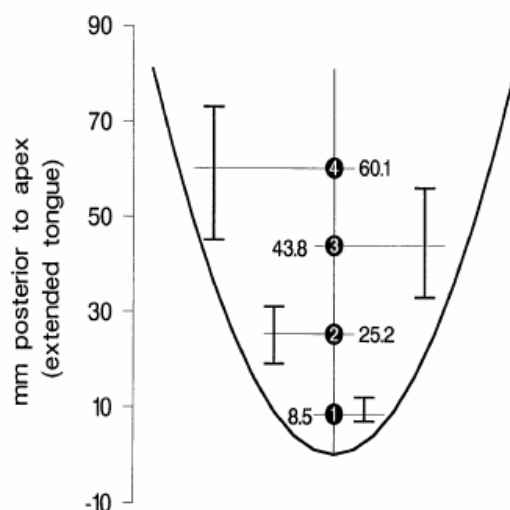
As coordenadas da *parede posterior da faringe (PHA)* de cada informante, disponíveis num ficheiro individual com o mesmo nome, são também fundamentais pois representam o limite posterior do tracto vocal, sendo por isso uma referência importante. As medidas da parede posterior da faringe foram obtidas a partir de uma imagem de radiologia convencional prévia à execução das tarefas fonatórias. Determinaram-se dois pontos aleatórios que definem uma recta representativa de toda a parede posterior da faringe.

#### 2.1.2.3.3. Dados dinâmicos

No que diz respeito à articulação foram considerados três estruturas móveis: mandíbula, língua e lábios. Na mandíbula foram monitorizados dois eléctrodos (ver Figura

2.10): MANi, localizado na face vestibular dos incisivos centrais inferiores, no espaço interdentário ao nível do ponto infradentale; e MANm, localizado unilateralmente (normalmente do lado esquerdo) ao nível do espaço interdentário entre o 1º e 2º molares e o sulco gengivo-dentário, embora frequentemente colado na própria gengiva.

Na língua foram colocados quatro eléctrodos (ver Figuras 2.10 e 2.14): T1 (ventral), localizado aproximadamente 10 mm posterior ao ápex da língua; T4 (dorsal), localizado aproximadamente 60 mm posterior ao ápex da língua, no ponto mais posterior possível, desde que não desencadeasse o reflexo de vômito; T2 (médio-ventral) e T3 (médio-dorsal), localizados entre T1 e T4 de maneira a formarem 3 segmentos equidistantes entre os 4 pontos.



**Figura 2.14** Distribuição de eléctrodos na língua. De Westburry (1994, p.41).

Ao nível dos lábios colocaram-se dois eléctrodos (ver Figura 2.10): UL (*Upper Lip*), localizado na linha média do lábio superior, ao nível do bordo do vermelho, e LL (*Lower Lip*), localizado na linha média do lábio inferior, ao nível do bordo do vermelho.

#### **2.1.2.4. Caracterização do sistema de aquisição de sinal**

Foi criado e seguido um protocolo de aquisição simultânea de sinais para cada informante, onde se incluíram: sinal acústico, sinal de electroglotografia, imagem de vídeo, e coordenadas de eléctrodos.



Os sinais áudio foram captados por um microfone (Shure SM81 Condenser) posicionado ao nível da boca, aproximadamente a 10 cm anterior e a 5 cm lateral. O sinal do microfone foi sincronizado com os dados das coordenadas, o sinal de electroglotografia e um sinal de vídeo. O microfone foi ligado a um gravador DAT de dois canais (Sony PCM-2500), que digitalizou o sinal com uma frequência de amostragem de 44100 Hz.

Os sinais de electroglotografia foram obtidos por um sistema Knowles Electronics (modelo BU-1771) colocado sobre a pele de ambos os lados da cartilagem tiróide. O sinal foi digitalizado em duas vias paralelas. A primeira, com uma frequência de amostragem de 5434 Hz, foi gravada num computador juntamente com o sinal áudio e as coordenadas de posição dos eléctrodos. A segunda foi digitalizada a 44100 Hz e gravada em DAT.

O sinal de vídeo foi captado em posição lateral e frontal, com duas câmaras de filmar (Vidicraft SEG-200) a 60 amostras por segundo, e gravado num gravador de vídeo (Sanyo VHR 8310). O objectivo deste sinal não foi a investigação, dada a sua baixa qualidade, mas sim a monitorização contínua do procedimento de aquisição dos sinais.

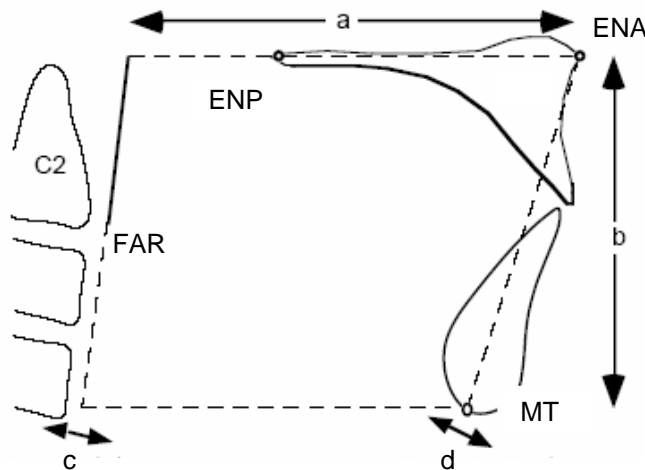
### 2.1.3. Estado da Arte

De entre as várias bases de dados construídas para o estudo da fala, a XRMB-SPD destaca-se como uma das mais completas, dado que alia a análise acústica com a análise articulatória num corpus alargado e numa amostra vasta. Uma das dificuldades que a XRMB-SPD tem inerentes é a difícil comparação entre indivíduos, dada a natural variabilidade das suas características anatómicas.

Honda et al. (1996) apresentaram um trabalho, de grande relevância para o nosso estudo, acerca da influência das diferenças das estruturas articulatórias na articulação das vogais /i/ e /a/ e de várias consoantes usando uma técnica inovadora para calcular a área geométrica da articulação. Sendo o estudo realizado com informantes falantes de Inglês Americano e Japonês da XRMB-SPD pretendeu-se comparar as variáveis estruturais relacionadas com diferenças entre género, raça e padrão facial sagital. Foram processados os dados relativos a 10 indivíduos falantes de Inglês Americano e 10 falantes de Japonês (cinco homens e cinco mulheres em cada grupo). Para determinar as diferenças calculou-se um quadrilátero (ver Figura 2.15), o denominado *articulatory space* ou *A-space*, com base

em medidas obtidas por coordenadas disponíveis na XRMB-SPD (parede posterior da faringe (FAR)) e outras obtidas por leitura de raio-x convencional (espinha nasal anterior (ENA), espinha nasal posterior (ENP) e mento (MT)).

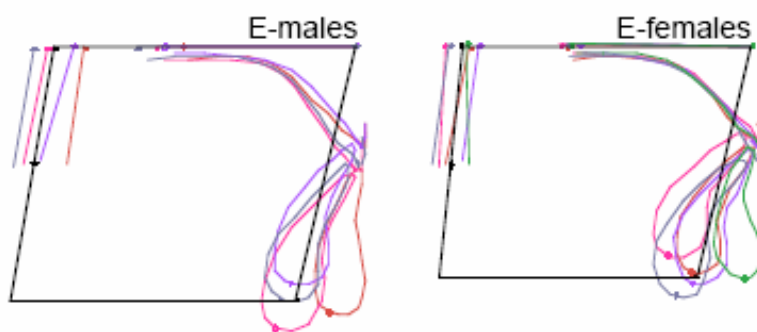
Para cada informante obteve-se um quadrilátero representativo do espaço articulatório, o *A-space*, através da intercepção de quatro linhas: ENA-ENP, linha de referência obtida pela união de ENA e ENP; FAR, linha formada pelas coordenadas da faringe; MT', linha paralela à de referência a interceptar MT; e MT-ENA, linha obtida pela união entre MT e ENA (ver Figura 2.15). Os parâmetros mensuráveis mais representativos são: a distância faríngea, obtida pela distância entre ENA e a parede posterior da faringe, representativa da profundidade da cavidade oral; a altura facial, medida por uma linha vertical entre ENA e a intercepção com MT', representativa da altura da cavidade oral; o ângulo entre FAR e MT', representativo da inclinação da cabeça; e o ângulo entre MT' e MT-ENA, representativo da inclinação mandibular (Honda, et al., 1996).



**Figura 2.15** Imagem representativa da construção do A-space: ENA – espinha nasal anterior; ENP – espinha nasal posterior; MT – mento; FAR – parede posterior da faringe; a – distância faríngea; b – altura facial; c – inclinação da cabeça; d – inclinação mandibular. De Honda et al. (1996, p.2).

A técnica utilizada permitiu visualizar diferenças significativas entre os informantes estudados, sendo que os homens apresentavam uma maior inclinação da cabeça quando comparados com as mulheres, que por sua vez apresentavam uma mandíbula mais retrognática, como se pode observar na Figura 2.16. Relativamente à língua verificou-se que os falantes de Japonês apresentavam uma maior protrusão dos incisivos superiores que os falantes de Inglês. A tendência geral pareceu ainda relacionar a maior a distância

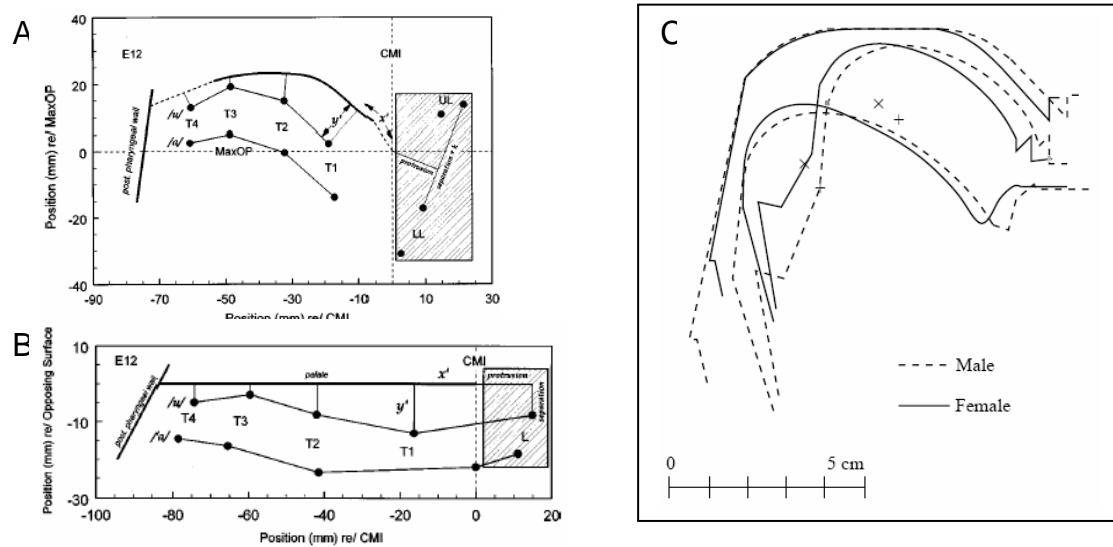
faríngea com o perfil braquifacial. A forma do palato parece ser influenciada pela posição dos incisivos superiores e o seu tamanho parece depender da distância faríngea e altura facial (Honda, et al., 1996).



**Figura 2.16** Resultados de Honda et al. (1996, p.3) relativos às diferenças entre homens (à esquerda) e mulheres (à direita).

Hashi et al. (1998) desenvolveram um método para facilitar a comparação entre informantes da XRMB-SPD relativamente a posturas articulatórias em vogais. É um procedimento relativamente simples de normalização que transforma a linha do palato numa linha horizontal, sendo as restantes coordenadas dos eléctrodos realocizadas, não em relação ao eixo XY, mas à distância e ângulo relativas à linha do palato original (ver Figura 2.17-A/B). Esta metodologia permite o estudo comparativo das tendências centrais e variabilidade das posturas articulatórias de vários informantes, minimizando os efeitos das diferenças no tamanho e forma do tracto vocal e foi posteriormente utilizada por outros autores em diversos estudos.

Simpson (2001; 2002) estudou a variabilidade articulatória relacionada com o género partindo do princípio que, tendo os homens e as mulheres tractos vocais de diferentes dimensões (ver Figura 2.17-C) e sendo os traços acústicos semelhantes deveriam necessariamente ocorrer diferenças articulatórias. Para tal, utilizou grande parte dos sujeitos da XRMB-SPD, 26 mulheres e 22 homens falantes de Inglês Americano, comparando produções de ditongos.



**Figura 2.17** Resultados de Hashi et al. (1998) (à esquerda) demonstrando: (A) resultados da comparação das vogais [a, u] sem a aplicação da técnica de normalização, (B) os mesmos resultados com aplicação da técnica de normalização. (C) Diferenças nas dimensões do tracto vocal dos infomantes de género masculino (linhas a tracejado) e feminino (linhas contínuas). De Simpson (2002).

## **2.2. MÉTODO**

### **2.2.1. Critérios de selecção de informantes**

O estudo iniciou-se pela selecção de informantes da XRMB-SPD. O objectivo final foi seleccionar 4 a 6 informantes (2 a 3 de cada género) representativos das várias classes de oclusão dentária existentes na XRMB-SPD, que cumprissem os critérios de inclusão, e simultaneamente fossem representativos do seu grupo de oclusão dentária e género. Numa primeira fase teve-se em consideração a informação presente no manual da base de dados para caracterizar a população, tendo-se criado os seguintes critérios de inclusão e exclusão de informantes:

- Critério de inclusão:
  - ter uma classificação de oclusão dentária classe I, II ou III.
  
- Critérios de exclusão:
  - falta dos ficheiros relativos às tarefas seleccionadas para o estudo;
  - falta de informação adequada de todos os eléctrodos previstos nas tarefas seleccionadas para o estudo;
  - falta da informação prevista relativa a medições dentárias e da mandíbula;
  - falta de dentes, com excepção dos terceiros molares;
  - presença de alterações dentárias, como mordidas cruzadas unilaterais ou mordidas abertas;
  - presença de alterações da ATM, como ressalto da mandíbula, desvios na abertura ou abertura limitada.

Prevendo a existência de um número elevado de informantes que cumprissem os critérios supracitados, o que se veio a confirmar, foi desenvolvida uma metodologia secundária para auxiliar o processo de selecção que se seguiu e a posterior caracterização dos informantes. Esta teve como base a selecção de medidas que fossem relevantes para a problemática em questão, a oclusão dentária, e simultaneamente permitissem caracterizar

os informantes quanto a aspectos relacionados, como a área intra-oral disponível para a articulação.

Ao ter em atenção os dados presentes na XRMB-SPD (descritos na Secção 2.1.2) é fácil compreender quão difícil seria a obtenção de um estudo cefalométrico completo, uma vez que, não tendo sido realizada radiologia cefalométrica, há ausência de coordenadas relativas a pontos da base do crânio, importantes para o sistema de referência, bem como de pontos da maxila. A única estrutura esquelética com dados adequadamente detalhados é a mandíbula, que é descrita por quatro pontos: *processo condilar* (CON) com correspondência cefalométrica ao ponto Dc; *processo coronóide* (COR), sem correspondência; *gónion* ou *goníaco* (GON) com correspondência ao ponto Go; e *gnátion* (GNA) com nomenclatura cefalométrica Gn. No entanto, mesmo estes consideram-se fálveis, dado terem sido adquiridos por radiologia convencional.

A ausência de informação da base do crânio e da maxila, como é o caso das *espinhas nasais anterior* (ENA) e *posterior* (ENP) limitam a utilização de técnicas de análise cefalométricas para o estudo sagital da tipologia facial, bem como por exemplo o uso das técnicas utilizadas no estudo de Honda et al. (1996), em que foi calculado o A-space com uma técnica que aliava metodologias cefalométricas com os dados da XRMB-SPD. No entanto, é indiscutível a necessidade de uma descrição adequada de cada informante no que respeita às suas áreas intra-orais, uma vez que esta é fundamental para a selecção de informantes, bem como para a posterior análise dos resultados.

O parâmetro *área intra-oral* é determinante para uma correcta compreensão do posicionamento dos articuladores móveis em repouso e nas várias funções estomatognáticas, entre as quais a fala. Tornou-se pois imprescindível desenvolver uma técnica específica que caracterizasse cada um dos informantes seleccionados e que tirasse o maior partido possível dos dados presentes na XRMB-SPD, tendo em consideração os princípios teóricos da análise cefalométrica. A técnica proposta de seguida traduz-se num conjunto de medições seleccionadas para fornecer informações, tanto quanto possível, acerca da tipologia facial e da área articulatória.

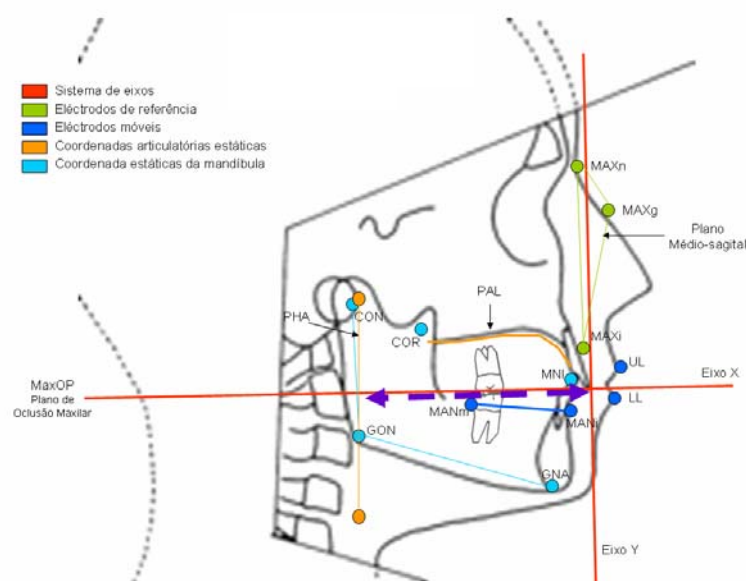
### 2.2.2. Método do *espaço-A modificado*

A presente metodologia foi criada com base no *A-space*, descrito no estudo de Honda et al. (1996), bem como em conceitos básicos de análise cefalométrica, e é naturalmente condicionado pelas características e limitações da XRMB-SPD.

Como já se referiu, é complicado cumprir todos os princípios de uma análise cefalométrica, dadas as limitações na caracterização dos informantes da XRMB-SPD a este nível. No entanto, visto que é fundamental ter em consideração a área intra-oral desenvolveu-se um novo método que passaremos a designar por *espaço-A modificado* inspirado no original *A-space* de Honda et al. (1996). Assim, embora não tenha sido possível criar um polígono representativo da área do *espaço articulatorio oral* (EAO), como no estudo original, foi proposto um conjunto de cinco medidas que permitem caracterizar cada informante e cada grupo de uma forma global.

#### 2.2.2.1. Medida 1 (M1) – Distância antero-posterior do EAO

Este parâmetro é um indicador da profundidade da cavidade oral tendo também sido utilizado por Honda et al. (1996), que o mediu a partir da espinha nasal anterior. Na ausência desse ponto será usado o plano *MaxOP*, por onde passa o eixo xx, sendo a medição iniciada nos incisivos superiores (origem dos eixos) até à intercepção com a parede posterior da faringe, tal como pode ser observado na Figura 2.19. A limitação desta medição prende-se com o facto da origem ser uma estrutura dentária e não uma estrutura óssea, uma vez que a presença de projecção dentária poderá alterar os resultados. No entanto, considerando os dentes uma fronteira anterior da cavidade oral, e havendo uma boa descrição do palato duro, estes não deixam de ser uma boa referência para a extracção da informação pretendida com esta medição.



**Figura 2.19** Representação da M1 do *Espaço A Modificado*.

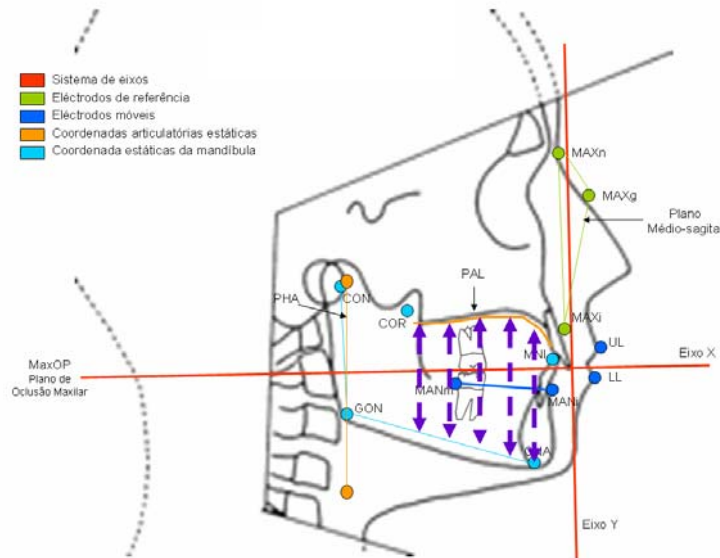
#### 2.2.2.2. Medida 2 (M2) – Área do plano sagital do EAO

A altura do espaço articulatório oral é importante para caracterizar verticalmente as dimensões da cavidade oral. Utilizamos o termo *espaço oral* e não cavidade oral, como normalmente é denominada, uma vez que não dispomos de informação de toda a parte superior da cavidade oral, apenas do palato duro, e os pontos de referência existentes não permitem diferenciar espaço oral vazio (cavidade) de espaço oral ocupado por estruturas moles como a língua (ver Figura 2.20).

A M2 é baseada nas medidas da mandíbula *GNA* e *GON*, nas coordenadas do palato do ficheiro *PAL* e nas medidas obtidas através dos moldes dentários (ver Secção 2.1.2.2.2.), donde se extraiu a linha média de três pares de pontos bilaterais de referência (ver Figura 2.12): caninos, primeiro molar e segundo molar. Partindo do princípio que havia simetria nas medidas da mandíbula, considerou-se um plano que passasse pelos pontos *GNA* e *GON*. Projectaram-se quatro linhas verticais, alinhadas nos incisivos superiores (origem dos eixos), e na linha média entre os caninos, primeiro molar e segundo molar. Visto que as quatro linhas cruzam a linha média do palato e o plano definido na mandíbula, extraíram-se as coordenadas das intercepções e calculou-se a distância entre a mandíbula e o palato na linha média. A área do espaço oral representada por M2 foi, então, calculada num plano sagital, localizado na linha média da cavidade oral, com início nos



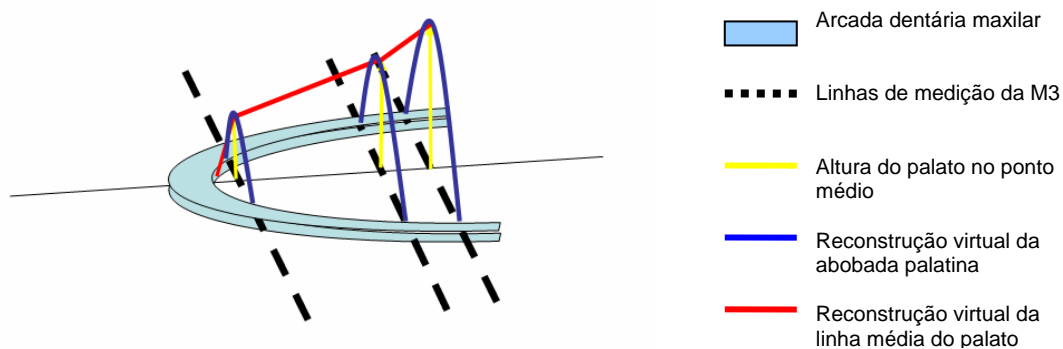
incisivos e fim na região dos segundos molares. M2 resulta da soma da área dos três trapézios (A1, A2 e A3) representados na Figura 2.25.



**Figura 2.20** Cálculo da M2 do *Espaço A Modificado*.

### 2.2.2.3. Medida 3 (M3) – Área do plano horizontal do EAO

A largura do espaço articulatorio oral é uma medida que caracteriza o espaço articulatorio lateralmente no plano *MaxOP* (ver Figura 2.21). A M3 é baseada nas medidas dentárias, obtidas através dos moldes dentários (ver Secção 2.1.2.2.2.), donde se extraiu a largura das arcadas a partir da ligação de três pares de pontos bilaterais de referência (ver Figura 2.12): caninos, primeiro molar e segundo molar.

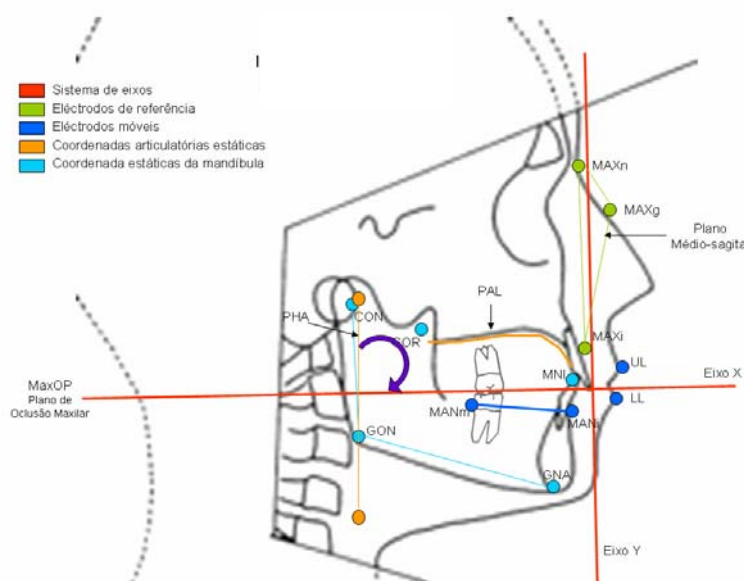


**Figura 2.21** Cálculo da M3 (a tracejado) e M2 do *Espaço A Modificado*.

Estas medidas não constam da XRMB-SPD, tendo sido posteriormente cedidas pelos seus autores num ficheiro *Excel* chamado *palatemaxmeas.xls*. A área do espaço oral representada por M3 foi, então, calculada num plano horizontal, com início nos incisivos e fim nos segundos molares. M3 foi calculada com base na soma da área dos três trapézios (A4, A5 e A6) representados na Figura 2.25.

#### 2.2.2.4. Medida 4 (M4) – Inclinação da parede posterior da faringe

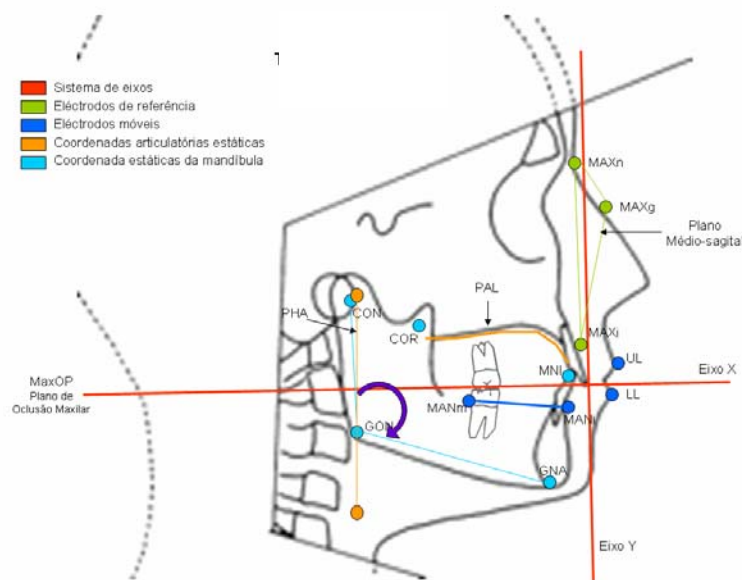
A inclinação da parede posterior da faringe pode facilmente ser medida pelo ângulo obtido entre a linha formada pelos pontos do ficheiro *PHA* (ver Secção 2.1.2.3.2) de cada informante e o eixo seu plano *MaxOP*, representado pelo eixo xx (ver Figura 2.22). Esta medição é potencialmente indicativa de compensações posturais do pescoço e da cabeça relacionadas com as relações dentária e esquelética. No entanto, é sabido o alto grau da variabilidade do plano *MaxOP* entre indivíduos, pelo que este não parece ser uma boa referência para medições objectivas como a que se pretende. Da mesma forma, a informação existente relativa à parede posterior da faringe foi obtida por uma imagem estática que pode não reflectir com precisão a postura adoptada em tarefas de fala por cada indivíduo. Apesar das suas limitações, este poderá ser um parâmetro de importância na interpretação dos dados.



**Figura 2.22** Representação da M5 do Espaço A Modificado.

### 2.2.2.5. Medida 5 (M5) – Ângulo do arco da mandíbula

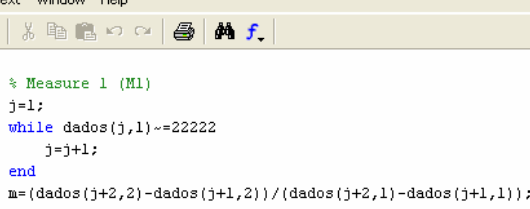
De entre os vários pontos, medidas e ângulos cefalométricos pesquisados é na análise de Rickets (Bianchini, 2002) que se encontram pontos que, apesar de diferentes, se aproximam mais dos presentes na XRMB-SPD. É o caso do arco mandibular que contém os pontos *DC*, *Xi* e *PM*. Nas medidas disponíveis podem encontrar-se os pontos *CON* (=DC), *GON* e *GNA* (próximo de *PM*), tal como se pode observar na Figura 2.9. Assim, embora não se possa traçar o mesmo ângulo nem usar os seus valores de referência, pode calcular-se uma medida análoga com base na relação entre as rectas *GON\_GNA* e *GON\_CON*, representadas na Figura 2.23. Da mesma forma que na medida de Rickets, com M5 podem esperar-se ângulos mais abertos em mandíbulas dolicofaciais e mais fechados em braquifaciais.



**Figura 2.23** Representação da M6 do Espaço A Modificado.

### 2.2.2.6. Extracção de dados

Os dados presentes na base de dados, necessários ao cálculo das medidas descritas na secção anterior, foram compilados num ficheiro de texto único para cada informante, que permitiu obter as medidas pretendidas com o *Matlab* (ver Figuras 2.24 e 2.25).

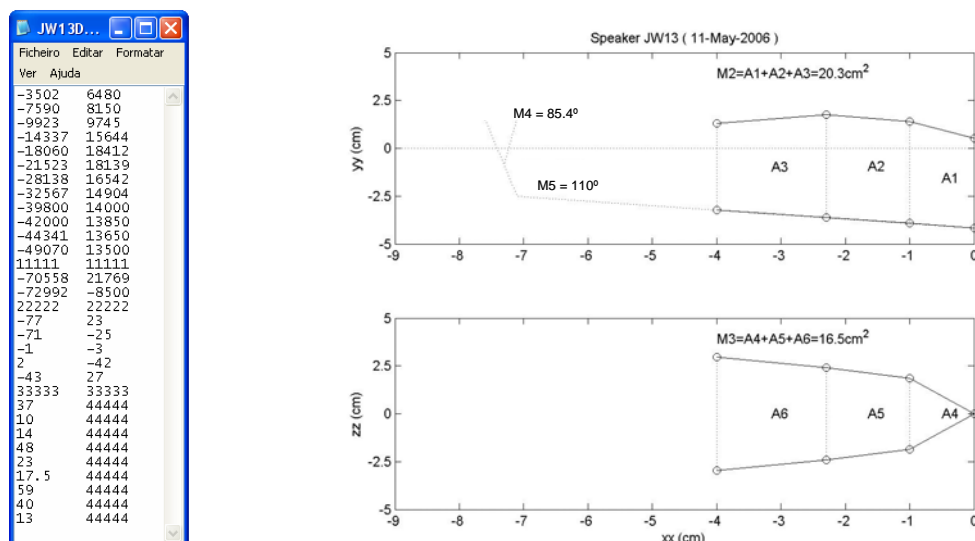


The screenshot shows a MATLAB script editor window with the following content:

```
17  
18 % Measure 1 (M1)  
19 j=1;  
20 while dados(j,1)~=22222  
21     j=j+1;  
22 end  
23 m=(dados(j+2,2)-dados(j+1,2))/(dados(j+2,1)-dados(j+1,1));  
24 b=dados(j+1,2)-m*dados(j+1,1);  
25 x=-b/m; % y=0  
26 medidal=-x;  
27  
28 % Measure 2 (M2)  
29  
30 GNA_GON=dados(j+4,1)-dados(j+2,1);  
31 mGNA_GON=(dados(j+4,2)-dados(j+2,2))/(dados(j+4,1)-dados(j+2,1));  
32 bGNA_GON=dados(j+2,2)-mGNA_GON*dados(j+2,1);  
33 k=1;  
34 x1=0;  
35 [y1,k]=EquacaoRecta(j,k,x1,dados);  
36 x2=-dados(j+8,1);
```

The window title is "F:\André Araújo\Tese\Informantes\Medidas finais\Calculo Medidas.m". The menu bar includes File, Edit, Text, Window, and Help. The toolbar contains icons for file operations and editing. The status bar at the bottom shows "script", "Ln 1", and "Col 1".

**Figura 2.24** Porção do código Matlab utilizado para calcular as medidas do *espaço-A modificado*.



**Figura 2.25** Medidas do *espaço-A modificado* relativas ao informante jw13 – FCI2. Ficheiro de texto (à esquerda) e gráfico obtido em Matlab (à direita).

### **2.2.3. Procedimentos da seleção e caracterização**

#### **2.2.3.1. Seleção de informantes**

A seleção dos informantes foi efectuada em duas fases distintas, a primeira de triagem e a segunda de seleção propriamente dita.

Inicialmente todos os informantes da XRMB-SPD foram identificados, tendo-se utilizado a mesma codificação da base de dados. Através do manual (Westbury, 1994) foi possível dividir os informantes em grupos quanto às variáveis *género* e *oclusão dentária*, tendo-lhes sido atribuído o seguinte código: homens de classe 1 (MC11), homens de classe 2 (MC12), homens de classe 3 (MC13), mulheres de classe 1 (FC11), mulheres de classe 2 (FC12) e mulheres de classe 3 (FC13).

Dado que todos os informantes da base de dados se inseriam num destes grupos procedeu-se em cinco fases à verificação da ausência de critérios de exclusão, eliminando progressivamente os informantes que os apresentavam: (1) exclusão por falta de pastas; (2) exclusão por alterações de oclusão, dentição e ATM; (3) exclusão por ausência de dados dentários e da mandíbula; (4) exclusão por provas TP013, TP014 e TP016 ausentes ou incompletas; e (5) exclusão por eléctrodos ausentes ou incompletos. Esta triagem foi feita com base no manual da XRMB-SPD (Westbury, 1994) e na visualização das várias tarefas implicadas no estudo.

Após a fase de triagem, e dado que apenas se pretendia seleccionar um informante de cada grupo, procedeu-se ao cálculo das medidas do *espaço-A modificado*, com o *Matlab*, de forma a seleccionar o indivíduo mais representativo das características de espaço intra-oral de cada grupo. Para tal usaram-se os valores das medidas M1, M2 e M3 para cada informante, e calculou-se, em *Excel*, as medianas de cada medida para cada grupo. Os resultados serão apresentados na Secção 2.3.1. em tabelas e gráficos de dispersão, de forma a visualizar quais os informantes mais próximos das várias medianas, que foram de seguida seleccionados.

#### **2.2.3.2. Caracterização de informantes**

Finda a fase de seleção, procedeu-se à caracterização detalhada dos elementos seleccionados, de forma a posteriormente ser realizada uma análise crítica fundamentada

dos resultados acústicos e articulatórios, tendo em conta as características anatómicas e funcionais dos mesmos.

Uma vez que os dados de que dispomos são limitados e não há estudos normativos relativamente às informações expostas no manual da XRMB-SPD, a caracterização inicial dos informantes foi essencialmente comparativa com base em “outputs” de imagem gerados pelo *TF32*. Foram analisadas imagens relativas ao formato do palato e posição da faringe, e a funções paralelas à fala também presentes na base de dados que permitiram uma melhor análise funcional não verbal de cada informante, como é o caso da deglutição (prova TP107), amplitude máxima de abertura da mandíbula (prova TP106) e amplitude máxima de infraversão externa da língua (prova TP117).

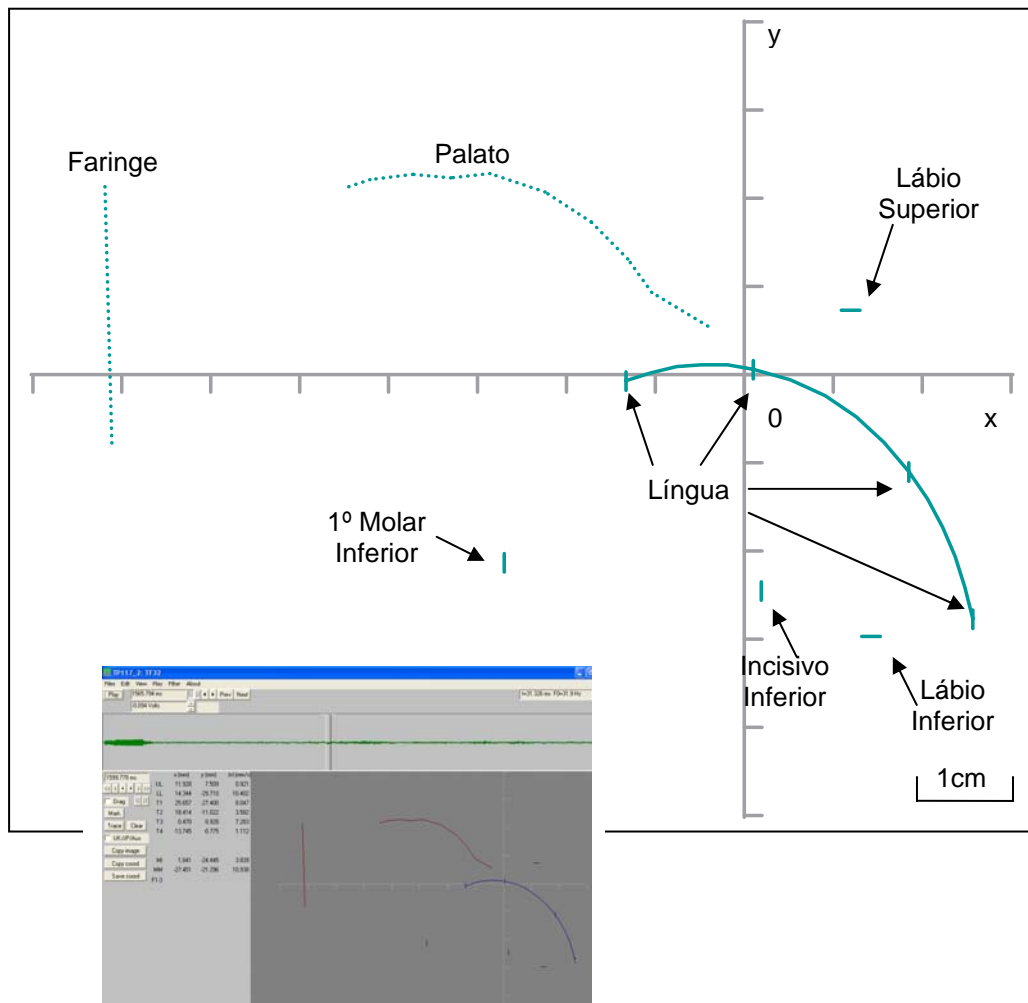
A deglutição é uma das funções estomatognáticas que assume maior importância na determinação de padrões de equilíbrio muscular e posicionamento da língua, pelo que pode influenciar padrões articulatórios e oclusais. Um dos parâmetros mais importantes da análise da deglutição é o ponto de apoio do ápex da língua, que por norma deve situar-se na região da papila palatina e por vezes se encontra alterado em situações de deglutição atípica e associado a perturbações articulatórias como o sigmatismo (Marchesan, 1998). Outros parâmetros observados foram a proximidade da língua ao palato, entre incisivos e entre lábios.

A observação e comparação da amplitude máxima de abertura da mandíbula (TP106) e da infraversão externa da língua (TP117) é útil para verificar se os informantes apresentam diferenças na mobilidade das várias estruturas móveis, que possam influenciar a fala ou que possam estar relacionadas com o *género* ou a *oclusão dentária*.

Para a extracção dos dados utilizou-se o programa *TF32*. Visionou-se a tarefa com a função *XY* e seleccionou-se a região pretendida para a comparação de cada informante, como se pode observar na Figura 2.26. De seguida usou-se a função *copy image* para exportar a imagem, tendo-se procedido à alteração da sua cor para cada informante de forma a facilitar a comparação na fase seguinte de sobreposição das imagens (ver Figura 2.26). As cores usadas mantiveram-se durante todas as fases posteriores do trabalho, de forma a facilitar a identificação dos informantes: MC11 a azul, MC12 a vermelho, FC11 a verde e FC12 a laranja.

A caracterização inicial foi complementada com as medidas extraídas pela metodologia do *espaço-A modificado*. Estas foram organizadas numa tabela, para

comparação dos valores entre informantes e grupos de *género* (MCI1+MCI2 vs FC11+FC12) e *oclusão dentária* (MCI1+FC11 vs MCI2+FC12). Foram ainda obtidos em *Matlab* gráficos relativos às mesmas medidas cuja análise foi complementar às medidas extraídas com o programa *TF32*.



**Figura 2.26** Processo de extracção de imagem na prova TP117 de jw54. Visualização da imagem no *TF32* (em baixo) e após a sua extracção (em cima).

## **2.3. RESULTADOS**

### **2.3.1. Selecção da amostra**

Numa primeira fase, tal como descrito, realizou-se o levantamento e classificação dos 57 informantes da XRMB-SPD, e procedeu-se à sua selecção, tendo em conta os critérios definidos. Para a classificação de base foram tidas em consideração as variáveis *género* e *classe de oclusão dentária* segundo Angle, com base nos dados presentes no manual de utilização (Westbury, 1994). Esta classificação inicial deu origem aos 5 grupos representados na Tabela 2.1: *MC11* – homens de classe 1, *MC12* – homens de classe 2, *MC13* – homens de classe 3, *FC11* – mulheres de classe 1 e *FC12* – mulheres de classe 2. Não foi identificado nenhum grupo de mulheres de classe 3 na base de dados.

Cada indivíduo foi identificado com o mesmo código usado na XRMB-SPD. Seguiu-se o processo de exclusão de indivíduos usando progressivamente os critérios presentes na legenda da Tabela 2.1. Para tal, procedeu-se à análise do manual (Westbury, 1994) e à visualização de determinadas tarefas pré-seleccionadas, essenciais à realização do estudo. A Tabela 2.1 apresenta esta divisão inicial, bem como as várias fases de aplicação dos critérios de exclusão supra-citados. Os informantes que apresentam células a sombreado até ao final da linha correspondem aos que respeitam todos os critérios. No final, foram seleccionados os informantes apresentados na Tabela 2.2.

Tendo-se verificado que o único informante do grupo *MC13* não cumpria os critérios determinados, optou-se por excluir do estudo a análise da oclusão dentária classe 3, procedendo-se apenas à comparação de informantes de classe 1 e classe 2.

Seguiu-se, então, a selecção de um informante de cada grupo. Dado que o grupo *MC12* apenas continha um informante, este foi automaticamente seleccionado para o estudo. Relativamente aos grupos *MC11*, *FC11* e *FC12*, recorreu-se à extracção das medidas *M1* e *M2* de cada informante, através da metodologia do *espaço-A modificado*, tendo-se obtido os respectivos gráficos e cálculo da área articulatória. As áreas articulatorias determinadas são apresentadas na Tabela 2.3.



	1	2	3	4	5
<b>MCI1</b>					
JW06	x		x		
JW07	x				
JW08	x	x			
JW11		x	x		
JW12		x			
JW15					
JW18		x			
JW24				x	
JW28		x			
JW40		x			
JW41		x			
JW42				x	
JW43		x			
JW44		x			x
JW45					
JW51		x			
JW53		x			
JW55					
JW57		x			
JW58					
JW59					
JW63		x			
<b>MCI2</b>					
JW32		x			
JW61					
<b>MCI3</b>					
JW19		x		x	

	1	2	3	4	5
<b>FCI1</b>					
JW05	x	x			
JW09	x	x	x		
JW14		x			
JW16					
JW20		x			
JW21		x			
JW23	x				
JW25					
JW26					
JW27		x			
JW29					
JW30					x
JW31		x			
JW33					
JW34					
JW36		x			
JW37		x			
JW38	x				
JW39					
JW46					x
JW47	x				
JW49					
JW50		x			
JW52		x	x		
JW54					
JW56					x
JW60		x			
JW62		x			
<b>FCI2</b>					
JW13					
JW17	x				
JW35		x			
JW48					

**Tabela 2.1** Classificação dos informantes.

1. Informantes eliminados por falta de pastas
2. Informantes eliminados por alterações de oclusão, dentição e ATM
3. Informantes eliminados por ausência de dados dentários e da mandíbula
4. Informantes eliminados por provas TP013, TP014 e TP016 ausentes ou incompletas
5. Informantes eliminados por eléctrodos ausentes ou incompletos

Grupo	Informantes seleccionados (1ª fase)	Total
MCI1	jw15, jw45, jw55, jw58 e jw59	5
MCI2	jw61	1
MCI3		0
FCI1	jw16, jw25, jw26, jw29, jw33, jw34, jw39, jw49 e jw54	9
FCI2	jw13 e jw48	2

**Tabela 2.2** Informantes seleccionados na primeira fase.

MCI1	M1 (cm)	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )
jw15	7.6	22.8	17.5
jw45	7.4	22.7	18.3
jw55	8.2	24.4	23.0
jw58	7.2	22.0	16.9
jw59	9.2	29.2	22.3
<b>Mediana</b>	<b>7.6</b>	<b>22.8</b>	<b>18.3</b>

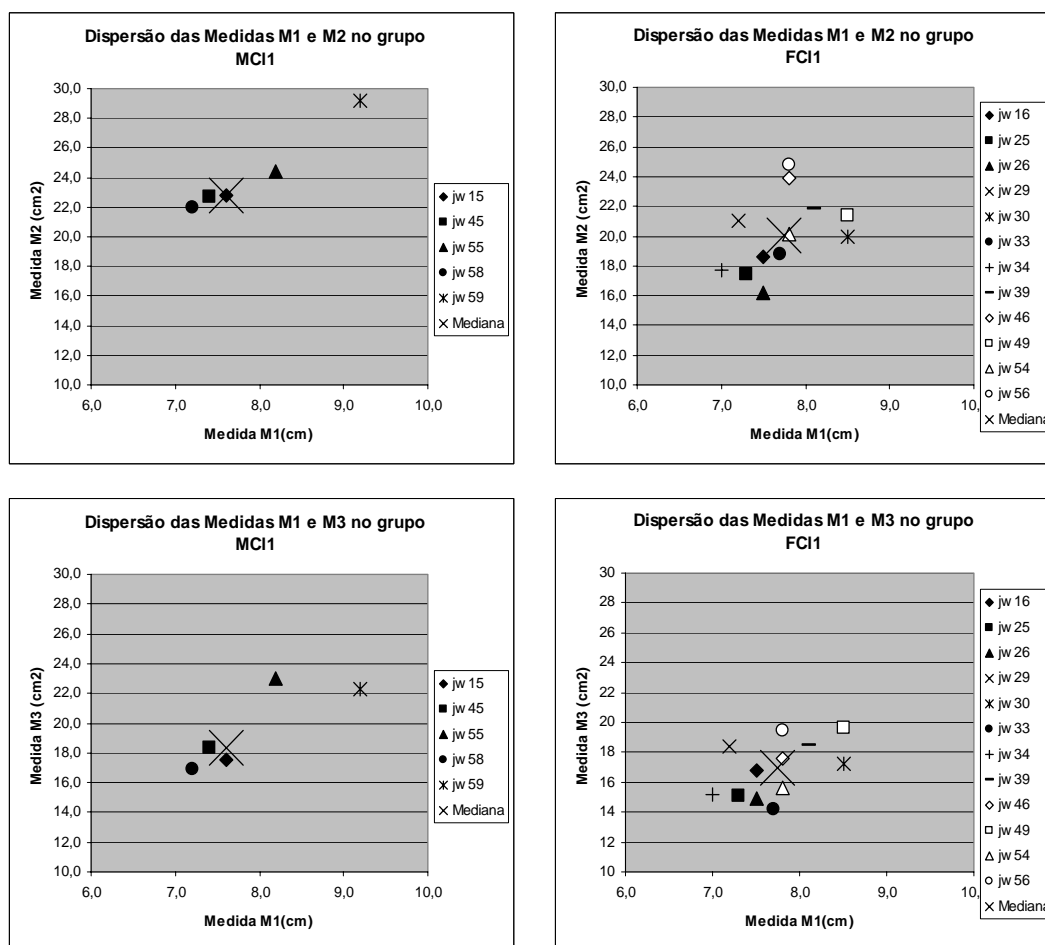
MCI2	M1 (cm)	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )
jw61	8.0	20.2	16.2

FCI2	M1 (cm)	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )
jw13	7.4	20.3	16.5
jw48	8.5	19.3	16.0

FCI1	M1 (cm)	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )
jw16	7.5	18.6	16.8
jw25	7.3	17.4	15.1
jw26	7.5	16.2	14.9
jw29	7.2	21.0	18.4
jw30	8.5	20.0	17.2
jw33	7.7	18.8	14.2
jw34	7.0	17.7	15.2
jw39	8.1	21.8	18.5
jw46	7.8	23.9	17.6
jw49	8.5	21.4	19.6
jw54	7.8	20.1	15.6
jw56	7.8	24.8	19.5
<b>Mediana</b>	<b>7.8</b>	<b>20.1</b>	<b>17.0</b>

**Tabela 2.3** Medidas M1, M2 e M3 do espaço-A modificado relativas aos informantes seleccionados na primeira fase.

Através da extracção das medidas M1, M2 e M3, correspondentes respectivamente à distância antero-posterior, e às áreas da altura e largura do EAO, procurou-se caracterizar a amostra existente, de forma a seleccionar para cada grupo apenas um indivíduo, que fosse representativo da tendência central (mediana) relativa às dimensões do EAO. Para o grupo FCI2, dado que era composto por apenas dois elementos, ambos consequentemente equidistantes da média, seleccionou-se aleatoriamente o informante jw13. Para os grupos MCI1 e FCI2, traçaram-se gráficos de dispersão, de forma a melhor visualizar os informantes mais próximos da mediana (distância euclidiana), tal como se mostra na Figura 2.27. Foi seleccionado para o grupo MCI1 o informante jw15, e para o grupo FCI1 o informante jw54.



**Figura 2.27** Tabelas de dispersão das medidas M1 e M2 nos grupos MC11 e FCI1, e respectivas medianas.

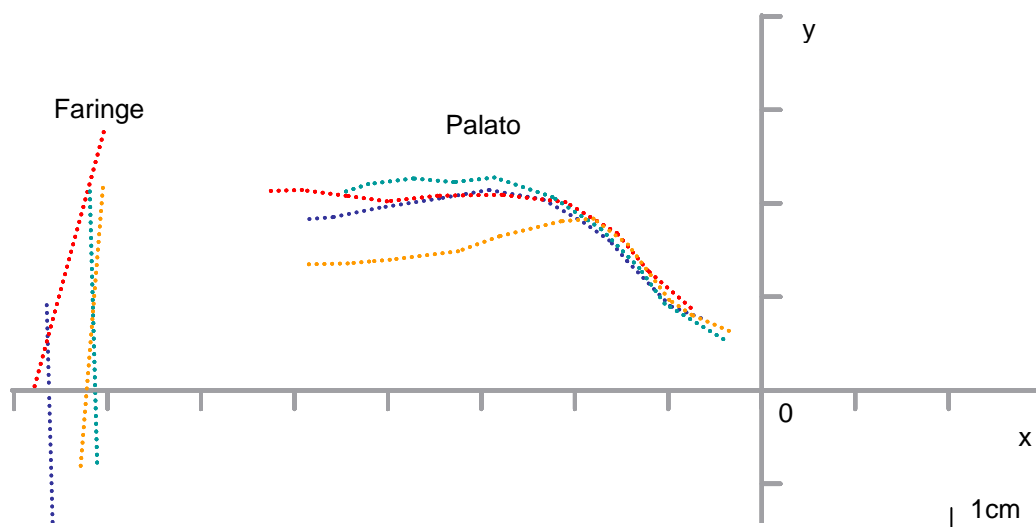
## 2.3.2. Caracterização da amostra

Após a selecção dos quatro informantes procedeu-se à sua caracterização inicial, de base comparativa, tendo em conta as imagens extraídas do *TF32*<sup>1</sup>.

### 2.3.2.1. Análise comparativa do palato e da faringe

O primeiro conjunto de imagens analisadas é relativo ao formato do palato e posicionamento da faringe. Foram sobrepostas as imagens relativas aos quatro informantes de forma a facilitar a comparação, tal como se apresenta na Figura 2.28.

<sup>1</sup> Para melhor compreender a localização das várias estruturas representadas na Figuras extraídas do *TF32* sugere-se a observação das legendas da Figura 2.26.



**Figura 2.28** Imagens sobrepostas de palato e faringe dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

Observa-se bastante uniformidade na forma dos palatos na região anterior (à direita) até ao 2º centímetro posterior ao bordo incisal dos incisivos maxilares. A partir desta marca há ligeiros desvios na curvatura entre os vários palatos. O informante jw13 apresenta o palato com o formato mais desviante, uma vez que a sua altura cresce antero-posteriormente até cerca de  $x = -1.8$  cm, da mesma forma que os restantes, decrescendo bruscamente a partir dessa marca.

Relativamente à localização da faringe verifica-se uma quase sobreposição entre as paredes posteriores da faringe dos informantes jw54 e jw13. A faringe de jw61 encontra-se ligeiramente mais posteriorizada que as dos últimos, num nível aproximado da de jw15. A inclinação das faringes de jw15, jw54 e jw13 tem uma posição próxima da verticalidade ( $90^\circ$  relativamente ao eixo xx), enquanto que jw61 apresenta um declive menos acentuado.

De uma forma geral destaca-se o informante jw13, que pela configuração do palato, alto na região média e baixo na região posterior, e pela localização da faringe parece ter uma menor área articulatória. No entanto, esta consideração será complementada com as medidas do *espaço-A modificado* na Secção 2.3.2.4. Tendo em consideração a teoria da Matriz Funcional (Bianchini, 2002), pode considerar-se que esta forma de palato, como estrutura óssea que é, pode estar relacionada com factores de origem mecânica, como por

exemplo a sucção digital ou na chupeta até fases tardias do desenvolvimento, ou outra origem de base funcional.

Relativamente ao informante jw61 destacamos ainda a inclinação da sua faringe como um facto que pode estar associado à oclusão dentária de classe II. Se considerarmos a possibilidade de se tratar de uma classe II de origem esquelética é natural que haja uma diminuição do espaço para as estruturas relacionadas com a mandíbula, o que pode justificar uma compensação na inclinação da parede posterior da faringe, de forma a aumentar o espaço na região posterior.

Relativamente à variável *oclusão dentária*, os indivíduos de classe II parecem apresentar áreas articulatórias menores que os de classe I, devido à localização mais anterior da faringe (e à forma do palato de jw13). Uma outra característica comum parece ser a inclinação da faringe que é mais acentuada na classe II. Relativamente à variável *género* a maior diferença parece ser também a faringe, que se localiza numa região mais posterior nos homens (tractos vocais mais longos).

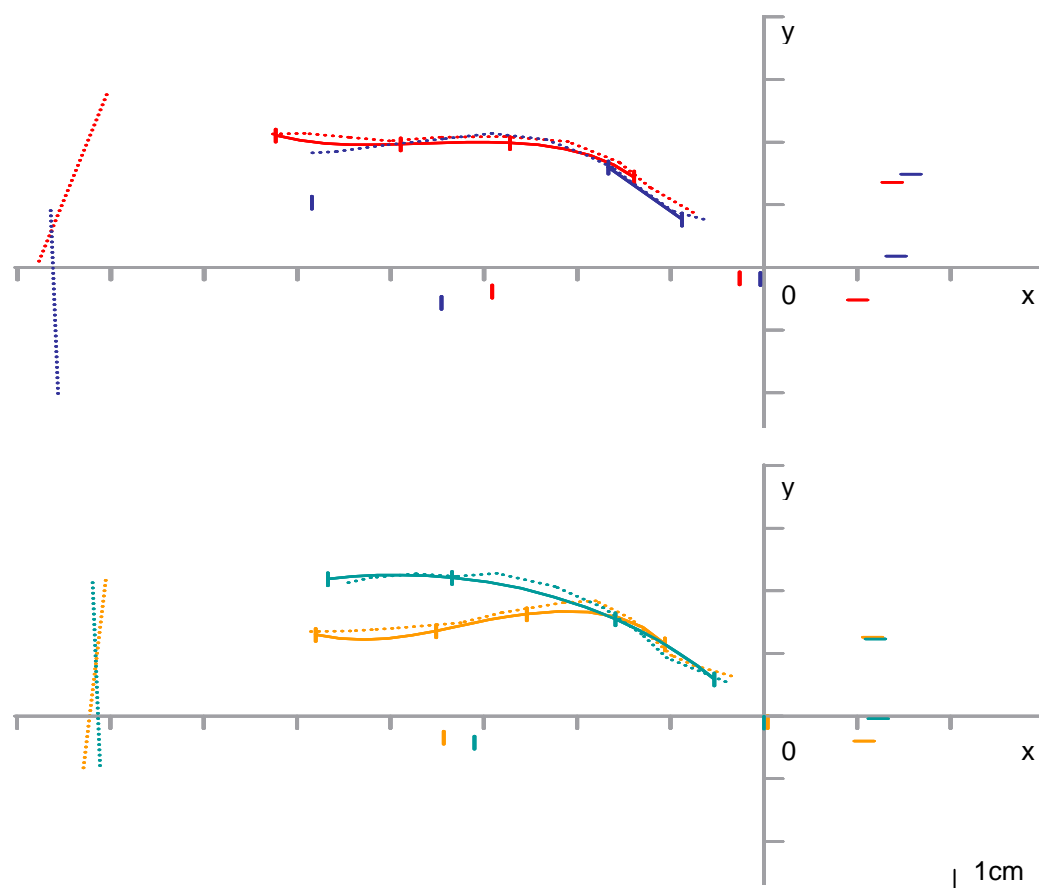
### 2.3.2.2. Análise comparativa da deglutição

Na Figura 2.29 apresentam-se os resultados duma análise comparativa de imagens funcionais de deglutição. Observa-se que em todos os informantes há contiguidade das linhas da língua e do palato o que é característico das fases pós-orais (faríngea e esofágica) da deglutição (em jw15 esta observação é limitada por falha na aquisição do sinal do eléctrodo T3). Este facto vem confirmar a validade das coordenadas do palato, analisado no ponto anterior, que embora obtidas por metodologias diferentes das da língua, apresentam aspecto semelhante.

O ponto de apoio do ápex da língua apresenta bastante variabilidade, sendo aproximado nos informantes jw15 e jw13 ( $x \approx -1\text{cm}$ ), mais anterior no informante jw54 ( $x \approx -0.5\text{cm}$ ) e mais posterior no informante jw61 ( $x \approx -1.5\text{cm}$ ). Segundo a *oclusão dentária*, o ponto de apoio encontra-se mais posteriorizado cerca de 0.5 cm na classe 2 em relação à classe 1 congénere. Quanto ao *género*, parece haver tendência a uma deglutição mais anterior no grupo feminino relativamente ao masculino.

Relativamente aos restantes parâmetros de observação há que destacar: o cruzamento do eixo yy pelos incisivos inferiores de jw13, o que indica uma projecção

mandibular no acto da deglutição; e uma posição ligeiramente posteriorizada do lábio inferior em relação ao superior no informante jw61 comparativamente com os restantes em que a relação é aproximada à verticalidade.



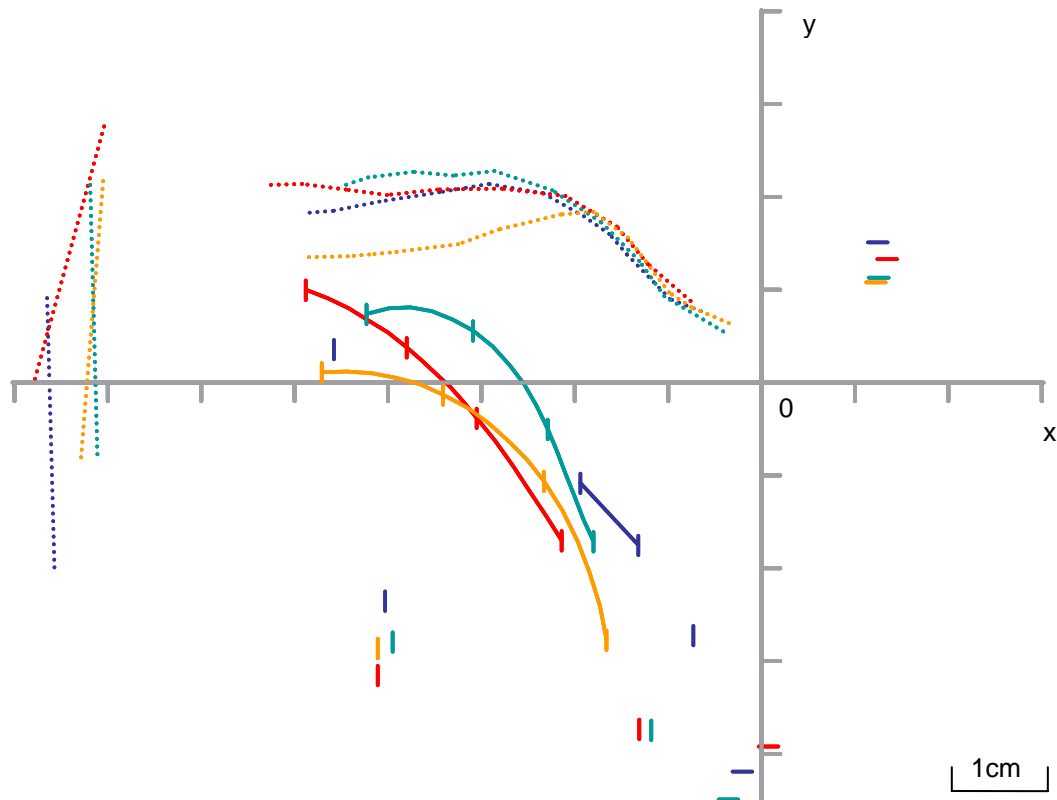
**Figura 2.29** Imagens sobrepostas da deglutição (prova TP107) dos informantes de género masculino (em cima) jw15 (azul) e jw61 (vermelho) e de género feminino (em baixo) jw54 (verde) e jw13 (laranja).

### **2.3.2.3. Análise comparativa da mobilidade oral**

Procedeu-se seguidamente à comparação de imagens funcionais em actividades não verbais relacionadas com a mobilidade oral, como a amplitude máxima de abertura da mandíbula (ver Figura 2.30) e a amplitude máxima de infraversão externa da língua (ver Figura 2.31).

Na Figura 2.30 verifica-se grande proximidade entre informantes relativamente às coordenadas: lábio superior, lábio inferior, incisivo inferior e molar inferior, o que indica

que nenhum informante parece apresentar uma limitação na abertura da mandíbula que pudesse interferir com a articulação. A informação relativa ao informante jw13 é limitada dado que faltam as coordenadas dos incisivo e lábio inferiores para comparação com o grupo. Em jw15 verifica-se uma falha no eléctrodo T3 da língua, que não interfere com a análise pretendida.

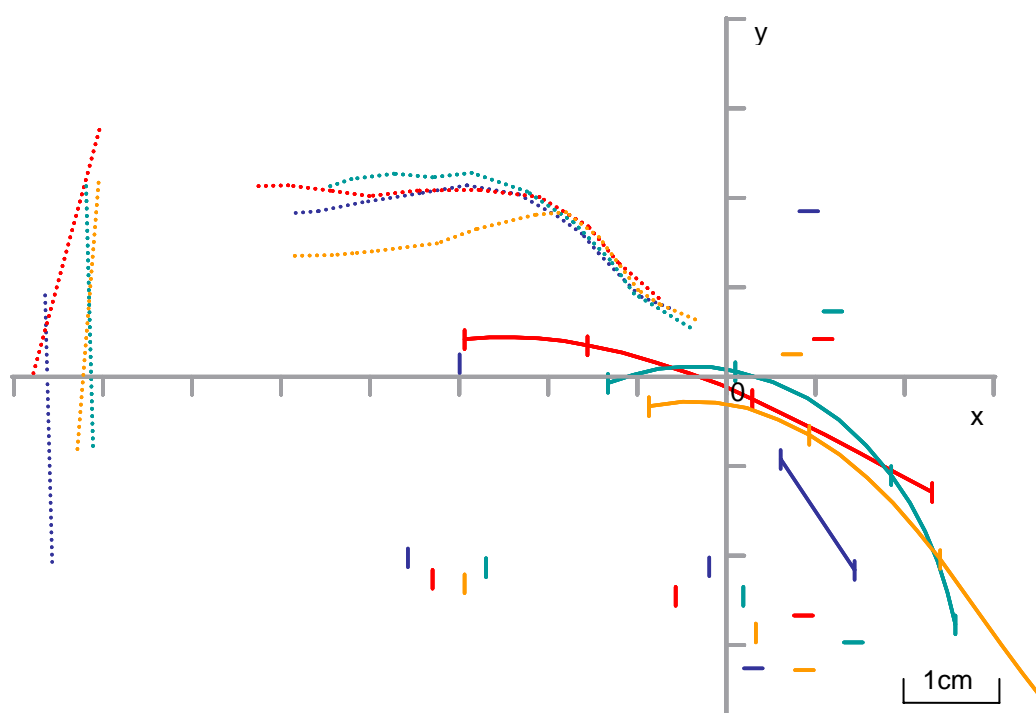


**Figura 2.30** Imagens sobrepostas da amplitude máxima de abertura da mandíbula (prova TP106) dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

Na Figura 2.31, como seria de esperar, observa-se uma grande deslocação anterior dos eléctrodos da língua em todos os informantes. Comparando com as figuras anteriores (Figuras 2.29 e 2.30), tanto jw54 como jw13 (grupo feminino) conseguem um grande deslocamento anterior da base da língua, entre 3 e 4 cm. Já jw15 e jw61 (grupo masculino) apresentam menor anteriorização da base da língua, com uma deslocação de aproximadamente 2 cm.

Quanto ao posicionamento da língua, e tendo em consideração que se trata de um movimento de infraversão externa da mesma, verifica-se que a curvatura para baixo na porção anterior é mais acentuada nos elementos de classe I (jw15 e jw54) do que nos de

classe II (jw61 e jw13), em que o ápex está mais projectado para a frente. Pode observar-se que nas mulheres (jw54 e jw13) a região posterior da língua se encontra mais anteriorizada que nos homens (jw15 e jw61), o que de resto também já acontecia nas Figuras 2.29 e 2.30 e pode estar relacionado com as dimensões da cavidade oral e da própria língua.



**Figura 2.31** Imagens sobrepostas da amplitude máxima de infraversão externa da língua (prova TP117) dos informantes jw55 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

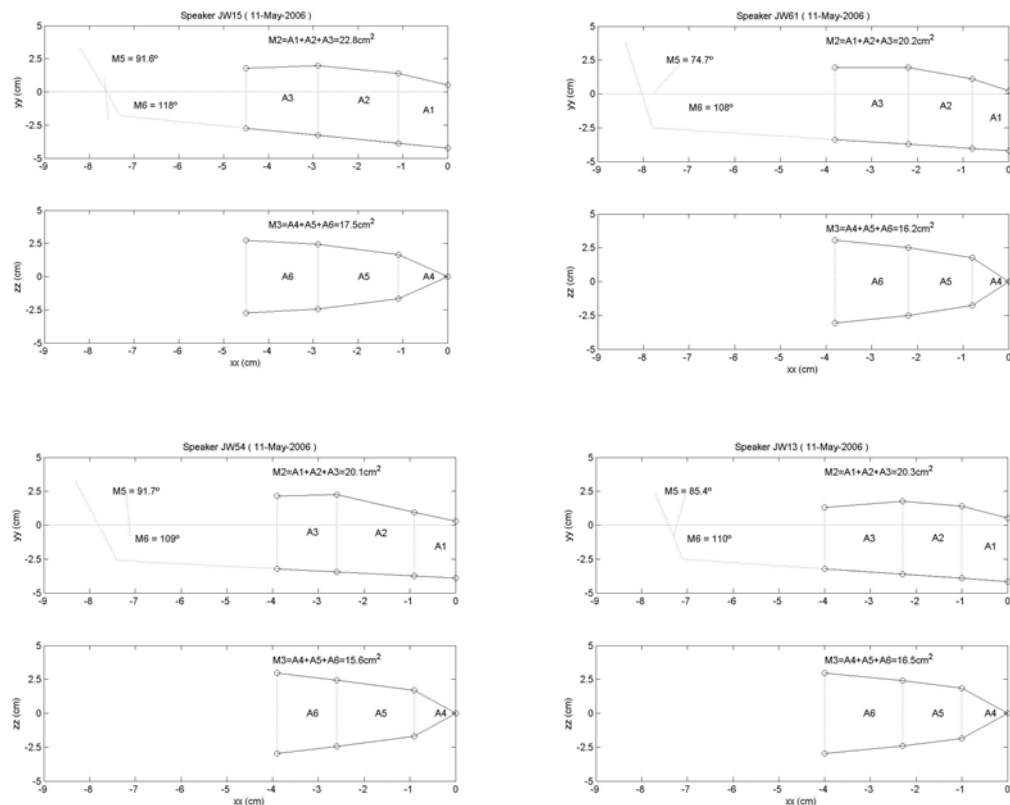
#### 2.3.2.4. Análise comparativa das medidas de *espaço-A modificado*

A caracterização dos informantes foi complementada com a metodologia do *espaço-A modificado*. Apresenta-se na Tabela 2.4 um resumo das várias medidas, e na Figura 2.32 os respectivos gráficos obtidos com o *Matlab*.



	M1 (cm)	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	M4 (°)	M5 (°)
jw15 (MCI1)	7.6	22.8	17.5	92	118
jw61 (MCI2)	7.7	20.2	16.2	75	108
jw54 (FCI1)	7.1	20.1	15.6	92	109
jw13 (FCI2)	7.2	20.3	16.5	85	110

**Tabela 2.4** Medidas do *espaço-A modificado* relativas aos 4 informantes.



**Figura 2.32** Medidas do *espaço-A modificado* relativas aos informantes jw15 – MCI1 (em cima à esquerda), jw61 – MCI2 (em cima à direita), jw54 – FCI1 (em baixo à esquerda) e jw13 – FCI2 (em baixo à direita).

Pela análise da Tabela 2.4 observa-se que jw15 (MCI1) apresenta uma distância antero-posterior de 7.6 cm. O espaço articulatório oral no plano sagital tem uma área de 22.8 cm<sup>2</sup> e no plano horizontal tem 17.5 cm<sup>2</sup>. A parede posterior da faringe apresenta uma inclinação de 92° e o ângulo do arco da mandíbula é de 118°.

O informante jw61 (MCI2) apresenta uma distância antero-posterior de 7.7 cm. No plano sagital, o espaço articulatório oral tem uma área de 20.2 cm<sup>2</sup> e no plano horizontal

tem 16.2 cm<sup>2</sup>. A parede posterior da faringe apresenta uma inclinação de 75° e o ângulo do arco da mandíbula é de 108°.

Verificam-se diferenças relativamente às várias medidas do espaço articulatorio, com excepção da distância antero-posterior. De uma forma geral pode dizer-se que o espaço articulatorio oral de jw15 é mais alto e mais largo. A parede posterior da faringe deste informante encontra-se mais próxima da verticalidade do que a de jw61 mais inclinada. O ângulo do arco da mandíbula de jw15 é mais aberto o que pode ser indicativo de um perfil facial vertical mais longo.

A Tabela 2.4 mostra ainda que jw54 (FC11) apresenta uma distância antero-posterior de 7.1 cm. O espaço articulatorio oral tem, no plano sagital, uma área de 20.1 cm<sup>2</sup> e, no plano horizontal, uma área de 15.6 cm<sup>2</sup>. A parede posterior da faringe apresenta uma inclinação de 92° e o ângulo do arco da mandíbula é de 109°.

O informante jw13 (FC12) apresenta uma distância antero-posterior de 7.2 cm. No plano sagital, o espaço articulatorio oral tem uma área de 20.3 cm<sup>2</sup> e no plano horizontal tem 16.5 cm<sup>2</sup>. A parede posterior da faringe apresenta uma inclinação de 85° e o ângulo do arco da mandíbula é de 110°.

A proximidade das medidas de jw54 e jw13 é grande, com excepção da inclinação da parede posterior da faringe, que é mais próxima da verticalidade em jw54 e mais inclinada em jw13. A largura da arcada dentária é ligeiramente superior em jw13.

Relativamente ao *género* não se pode afirmar que as diferenças são muito evidentes. Apesar de jw15 (MC11) apresentar M2 e M3 maiores que o grupo feminino, jw61 (MC12) apresenta medidas muito próximas deste grupo. Note-se que estas medições são efectuadas ao nível dos caninos, pré-molares e primeiros molares, e que jw15 apresenta os primeiros molares num nível mais posterior que os restantes informantes, o que está relacionado com o aumento das áreas apresentadas. A maior diferença relaciona-se com a distância antero-posterior que se apresenta consideravelmente superior no grupo masculino. Quanto à *oclusão dentária*, a maior diferença é relativa à inclinação da parede posterior da faringe, que apresenta um ângulo mais fechado na classe II. Este resultado apresenta-se divergente do apresentado por Honda et al. (1996) que referia haver uma maior inclinação da cabeça nos homens. Note-se, no entanto que os métodos de medição angular foram diferentes, tendo havido também um maior número de informantes no estudo de Honda et al. (1996).

Apesar de anteriormente se terem observado diferenças na forma do palato de jw13, relativamente aos restantes informantes, não se verifica uma redução na área do espaço articulatorio oral no plano sagital, como foi sugerido na Secção 2.3.2.1. Os restantes resultados obtidos pelo método do *espaço-A modificado* estão em consonância com a observação efectuada na análise do palato e faringe realizada anteriormente. É de realçar que na generalidade este método acrescenta informação sobre o ângulo do arco da mandíbula, relacionado com a tipologia facial vertical, e que apenas jw15 parece ter tendência a um perfil mais longo relativamente aos restantes.

## **2.4. SUMÁRIO**

Neste capítulo fizemos uma descrição detalhada sobre a variável *oclusão dentária*, tendo verificado que a classificação de Angle (1907), apesar de antiga, ainda é a mais utilizada (neutroclusão e maloclusões de classe I, II e III). No entanto, sabe-se hoje que para além da classe de oclusão dentária e suas divisões, é importante avaliar a tipologia facial (o padrão facial vertical e sagital) e proceder ao estudo e classificação das estruturas craniofaciais através de medidas angulares e lineares, por análise cefalométrica, possibilitando avaliar a forma e o tamanho das estruturas craniofaciais e dentárias. Considerando todos estes factores, verificámos que, no que respeita à articulação dos sons da fala, a variável *oclusão dentária* é apenas um factor indicativo da área do tracto vocal existente para articular.

A XRMB-SPD é uma base de dados de fala bastante complexa que nos fornece informação simultânea de sinais áudio, electroglotografia e articulação dinâmica, captada por uma técnica imagiológica que detecta o movimento de eléctrodos colocados em vários órgãos articulatórios, e apresentada num sistema de eixos XY. Apesar do grande número de informantes, e da descrição detalhada e rigorosa de cada um, verificamos que não foi efectuada análise cefalométrica nem avaliada a tipologia facial. A classe de oclusão dentária foi avaliada e apresentada apenas nas categorias de Classe I, Classe II e Classe III, o que nos levantou alguns problemas de base, já que também as divisões foram omitidas.

De forma a ultrapassar a limitação inerente à falta de informação adequada ao nosso estudo, descrevemos detalhadamente todas as características consideradas pertinentes da XRMB-SPD. Baseados no “A-space”, proposto por Honda et al. (1996) para determinar e comparar o espaço articulatório de vários informantes, e na análise cefalométrica de Ricketts, propusemos um conjunto de cinco medidas, extraídas dos dados disponíveis na base de dados, de forma a complementar a informação relativa à classe de oclusão dentária. Estas medidas, que denominámos por *espaço-A modificado*, permitiram auxiliar no processo de selecção e caracterização dos informantes que fizeram parte do estudo.

Foram seleccionados quatro informantes: um homem de classe I (MC11), outro de classe II (MC12), uma mulher de classe I (FC11) e outra de classe II (FC12). A classe III foi eliminada do estudo devido à insuficiência de informantes que cumprissem os critérios determinados.

Procedeu-se à caracterização e comparação dos quatro informantes considerando as variáveis *oclusão dentária* e *género*. Salientamos que o palato de FCl2 é diferente do dos outros informantes, embora não se verifique uma redução na área do espaço articulatorio oral. Seria interessante perceber que tipo de factores, possivelmente traumáticos de ordem mecânica, podem ter influenciado o seu crescimento crânio-facial. Além disso, o cruzamento do eixo yy pelos incisivos inferiores indica uma projecção mandibular no acto da deglutição, ao contrário de MCl2 que apresenta os incisivos inferiores sempre recuados em relação aos superiores. Esta característica pode ser indicativa de divisões de classe de Angle diferentes, tendo possivelmente MCl2 uma divisão 1 e FCl2 uma divisão 2. Note-se que é frequente em indivíduos com classe II divisão 2 a ocorrência de supraoclusão, que por sua vez é associada a deslizamento anterior da mandíbula durante a fala (Bianchini, 2002), compensação que se observa de forma evidente em jw13.

Relativamente à variável *oclusão dentária*, os indivíduos de classe II estudados parecem apresentar áreas articulatorias menores que os de classe I, devido à localização mais anterior da faringe. A inclinação da faringe que é mais acentuada na classe II, dado que se confirma pelos valores da medida M4 do *espaço-A modificado*. Nas provas de mobilidade não-verbal, verificou-se que na deglutição o ponto de apoio da língua no palato se encontra mais posteriorizado na classe II do que na classe I. Por sua vez, na projecção lingual verifica-se que a curvatura para baixo na porção anterior da língua é mais acentuada nos elementos de classe I do que nos de classe II, em que o ápex está mais projectado para a frente.

Identificámos várias diferenças quanto à variável *género*. A primeira parece ser a faringe, que se localiza numa região mais posterior nos homens, indicativa de um tracto vocal com maior profundidade, tal como referia Simpson (2001; 2002). Parece também haver tendência a uma deglutição mais anterior no grupo feminino relativamente ao masculino. Na projecção lingual pode observar-se que nas mulheres a região posterior da língua se encontra mais anteriorizada que nos homens. As medidas do *espaço-A modificado* revelam poucas diferenças relacionadas com o *género*, com excepção da distância antero-posterior que se apresenta superior no grupo masculino.



# CAPÍTULO 3

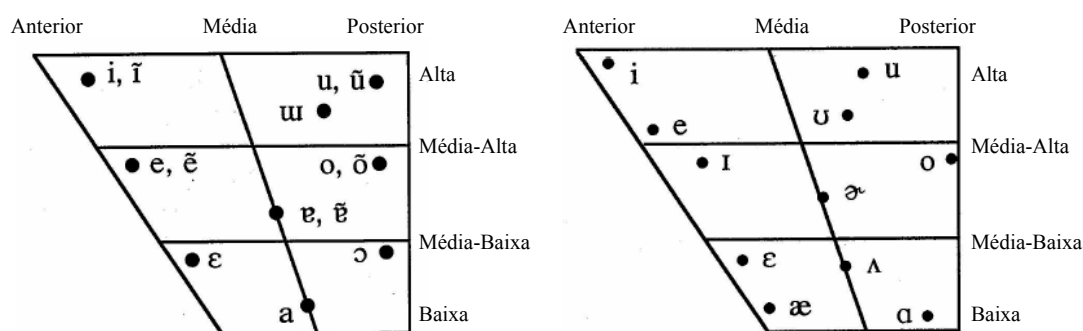
## ANÁLISE DE SONS VOCÁLICOS

### 3.1. INTRODUÇÃO

#### 3.1.1. Caracterização e Classificação de Vogais

A classificação tradicional das vogais é realizada tendo em conta vários parâmetros: região da língua elevada em direcção ao palato, altura da elevação da língua e posição dos lábios (Mateus, et al., 2005). Esta classificação é pouco satisfatória, uma vez que a posição da língua e dos lábios é muito variável entre indivíduos, não havendo “fronteiras” claras que distingam as várias vogais como acontece com as consoantes (Ladefoged, 2006). Além do mais, as vogais são muito sensíveis ao contexto coarticulatório da palavra e da frase, bem como às variações de base linguística, cultural e geográfica de cada falante.

A distribuição das várias vogais do Português Europeu, segundo a *International Phonetic Association* (1999), é apresentada na Figura 3.1.



**Figura 3.1** Espaço das vogais do Português Europeu (à esquerda) e do Inglês Americano (à direita). Adaptado de IPA (1999).

Mateus et al. (2005) descrevem uma classificação articulatória tradicional do Português Europeu padrão para as nove vogais orais de acordo com os parâmetros posição do dorso e da raiz da língua, e posição dos lábios. Considera-se que a língua em estado de

repouso se encontra numa posição central e média, também designada por posição neutra. Quanto à altura do dorso da língua podem considerar-se as posições: alta, elevação do dorso em relação à posição neutra; média, dorso na posição neutra; e baixa, dorso baixo em relação à posição neutra (ver Tabela 3.1). Relativamente ao recuo ou avanço da língua em relação à posição neutra consideram-se as seguintes denominações: anterior, língua avançada; central, posição neutra; e posterior, língua recuada (ver Tabela 3.1). A posição dos lábios é arredondada nas vogais posteriores do Português Europeu.

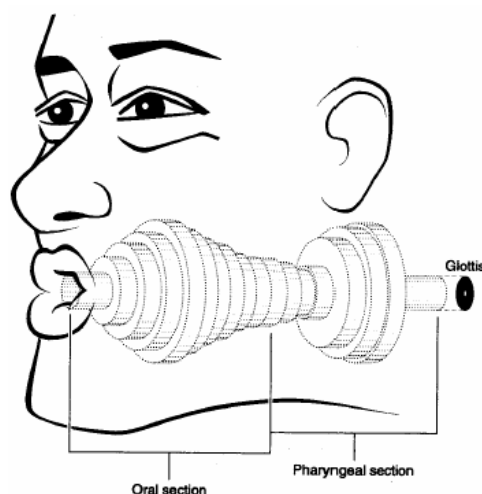
	Anterior ou palatal	Central	Posterior ou velar
Alta	[i]	[ɨ] ou [ʉ]	[u]
Média	[e]	[ɘ]	[o]
Baixa	[ɛ]	[a]	[ɔ]

**Tabela 3.1** Classificação das vogais orais do Português Europeu padrão. Adaptado de Mateus et al. (2005).

A produção das vogais pode ser estudada com base na teoria fonte-filtro, desenvolvida por Fant (1960): “o aparelho fonador funciona como um sistema de fontes sonoras, que geram som, e de filtros, que modelam o som produzido pelas fontes sonoras amplificando diferentes componentes do sinal” (Mateus, et al., 2005, p.120). Na produção de vogais a fonte sonora é periódica, resultado da vibração das pregas vocais. O filtro modela o processo de ressonância de um tubo aberto numa ponta, considerando que o tracto vocal é um tubo com as pregas vocais aduzidas (encerradas) durante a fonação numa ponta e os lábios abertos na outra (ver Figura 3.2).

A caracterização acústica das vogais pode ser efectuada através de uma análise espectrográfica, observando-se uma intensidade aumentada em várias gamas de frequência, que difere em cada vogal. Estas frequências correspondem a ressonâncias do tracto vocal e denominam-se de formantes, sendo frequente usar as três primeiras, por ordem crescente, para caracterizar cada vogal. Ladefoged (2006) considera que o espaço das vogais segundo a classificação tradicional representa com alguma fidelidade as duas primeiras formantes. Assim, O parâmetro “altura” está mais relacionado com a primeira formante (F1) do que propriamente com a altura da língua. Da mesma forma o parâmetro “antero-posterior”, influenciado pela localização da língua e pelo arredondamento dos lábios, parece afectar directamente a segunda formante (F2).



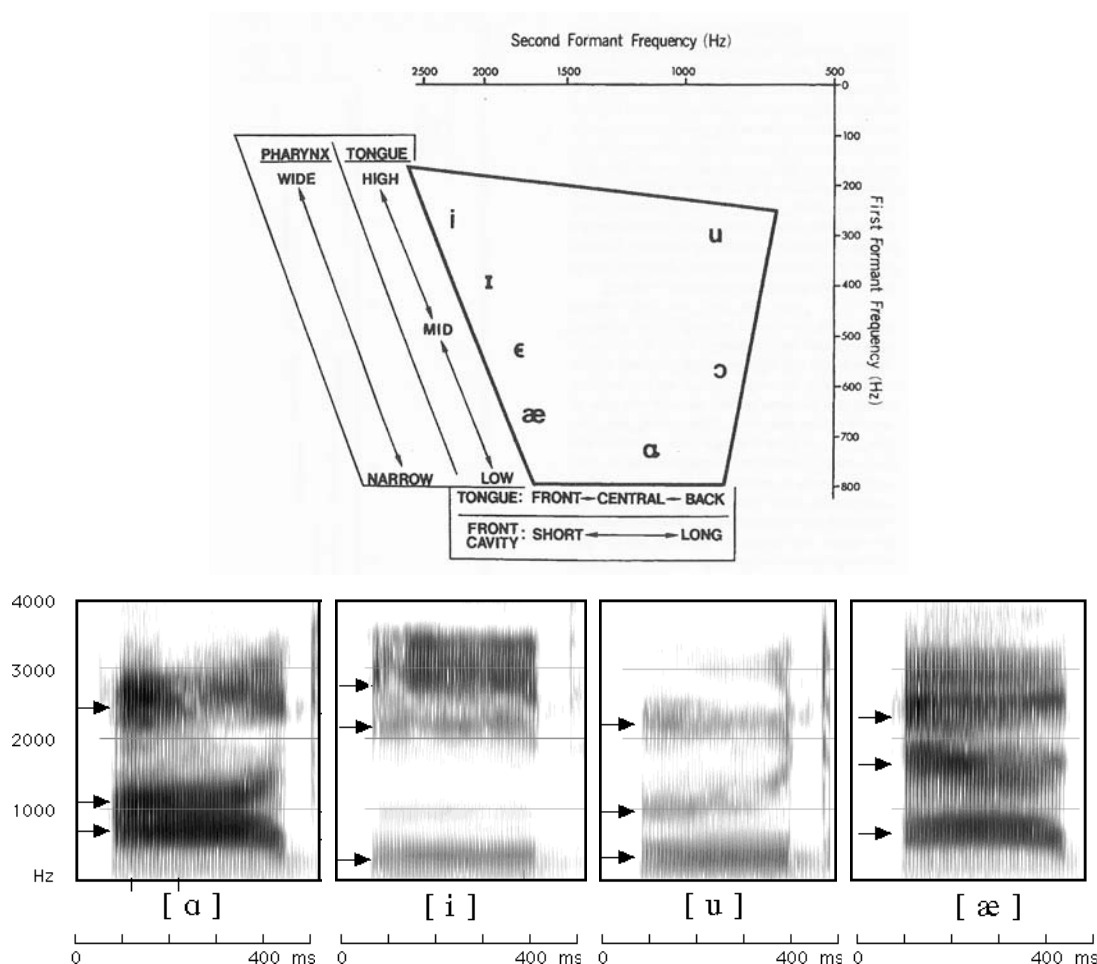


**Figura 3.2** Modelo de tubos cilíndricos da produção da vogal [u]. De Titze (2000).

Vários autores tentaram construir modelos de produção que simulassem o tubo de ressonância de forma a explicar com base em teorias acústicas o processo de ressonância das vogais (Fant, 1970; Flanagan, 1972; Kent e Read, 1992; Stevens, 1998; Speaks, 1999; Titze, 2000). De uma forma simplificada Titze (2000) descreve da seguinte forma a influência do tracto vocal na modificação das formantes: quando o comprimento do tracto vocal aumenta, todas as frequências das formantes decrescem; quando existe uma constrição na cavidade oral, F1 decresce e F2 aumenta; quando existe uma constrição na faringe, F1 aumenta e F2 decresce.

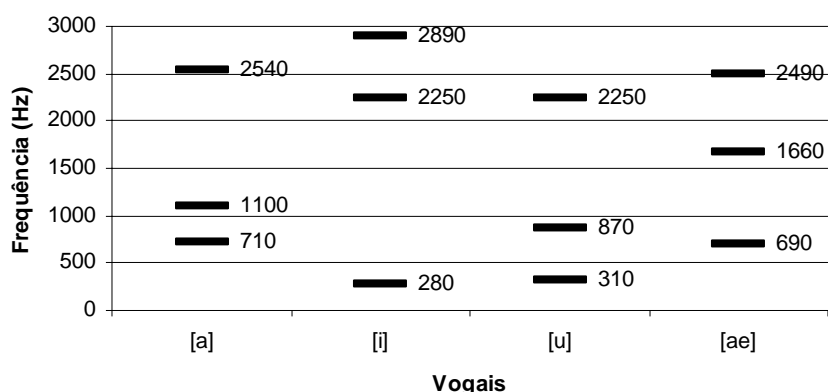
### 3.1.1.1. Breve caracterização das vogais do Inglês Americano

Na língua inglesa, dialecto americano, ao qual diz respeito a base de dados usada neste trabalho, existem 11 vogais: [i] de “bead”, [ɪ] de “bid”, [e] de “bayed”, [ɛ] de “bed”, [æ] de “bad”, [ɑ] de “pod”, [o] de “bode”, [ʊ] de “good”, [u] de “hooed”, [ʌ] de “bud” e [ɜ] de “bird” (IPA, 1999). O espaço das vogais apresenta nos seu vértices /a/, /i/, /u/ e /æ/, como se pode observar na Figura 3.1. A Figura 3.3 representa igualmente o espaço das vogais, combinando a classificação tradicional com a representação das formantes.



**Figura 3.3** Em cima: espaço de algumas vogais do Inglês. De Borden et al. (2003). Em baixo: espectrogramas das vogais [ɑ], [i], [u] e [æ] de um falante de Inglês Americano. Adaptado de Ladefoged (2006, p.186).

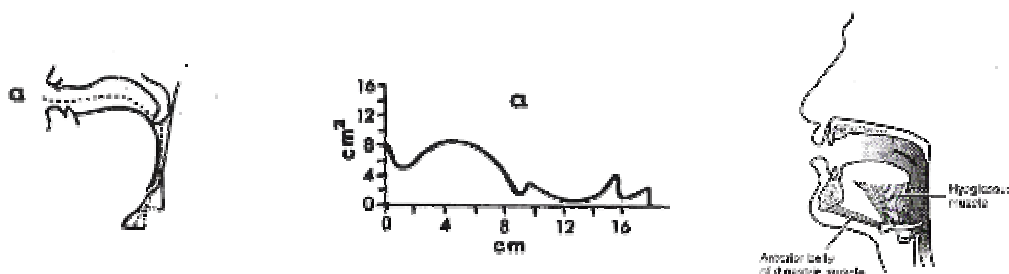
Dada a importância da caracterização acústica das vogais para este trabalho, em especial das que se localizam nos vértices do espaço das vogais, apresenta-se na Figura 3.4 a distribuição dos valores de F1, F2 e F3 das mesmas.



**Figura 3.4** Distribuição de formantes (F1, F2 e F3) das vogais [a], [i], [u] e [æ] do Inglês Americano. Adaptado de Ladefoged (2006, p.185).

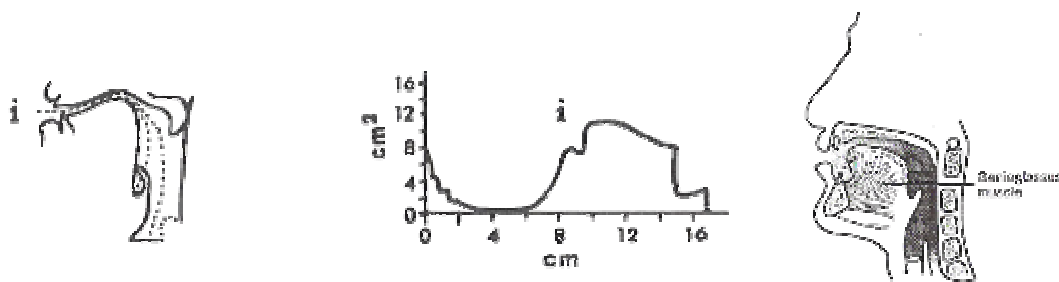
Uma vez que este trabalho pretende identificar e descrever possíveis variações articulatórias relacionadas com a oclusão dentária, descrevemos de seguida a principal musculatura utilizada na produção das vogais. Borden et al.(2003) relacionam de forma bastante clara aspectos acústicos e articulatórios da produção das três vogais [a, i, u].

Na vogal [a], que Borden et al. (2003) consideram baixa e posterior, a cavidade oral está aumentada e a cavidade faríngea diminuída. O aumento da cavidade oral acontece por dois processos que podem ser independentes ou conjugados: o abaixamento passivo da língua por abertura da mandíbula e/ou a depressão activa da língua. A abertura da mandíbula acontece em grande parte por acção do ramo anterior do músculo digástrico, enquanto que a depressão activa da língua se dá pela acção do músculo hioglosso (ver Figura 3.5). A F1 é alta devido à pequena cavidade faríngea. Por sua vez a grande cavidade oral resulta numa F2 relativamente baixa (Titze, 2000).



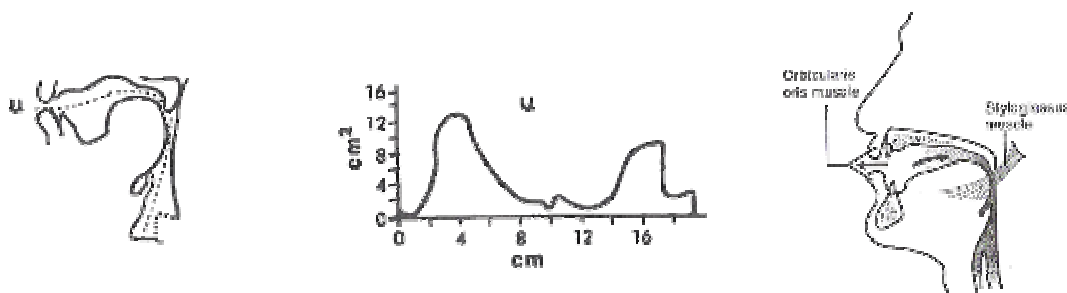
**Figura 3.5** Vogal [a]: diagrama da postura articulatória (à esquerda), distribuição da área antero-posterior do ressoador (ao centro) e musculatura implicada na articulação (à direita). De Borden et al. (2003, p.93).

A vogal [i], classificada como anterior, alta e não-arredondada (Borden, et al., 2003), caracteriza-se por uma cavidade oral pequena, com o ápex da língua elevado junto à região alveolar, enquanto que a cavidade faríngea aumenta devido ao deslocamento da base da língua para a região superior. O músculo responsável pelo movimento da língua nesta vogal é o genioglosso (ver Figura 3.6). A constrição na cavidade oral faz decrescer a F1 e aumentar a F2 (Titze, 2000).



**Figura 3.6** Vogal [i]: diagrama da postura articulatória (à esquerda), distribuição da área antero-posterior do ressoador (ao centro) e musculatura implicada na articulação (à direita). De Borden et al. (2003, p.90).

A última vogal analisada, o [u], é classificada como alta, posterior e arredondada (Borden, et al., 2003). Esta vogal é articulada com o dorso da língua elevado até próximo da região de transição entre os palatos duro e mole, movimento efectuado pelo músculo estiloglosso. Simultaneamente há protrusão e arredondamento dos lábios pela contracção do músculo orbicular dos lábios (ver Figura 3.7). As características do sinal acústico resultante da produção do [u] estão principalmente relacionadas com o arredondamento dos lábios, dado que este aumenta o comprimento do tracto vocal resultando num abaixamento de todas as formantes (Titze, 2000).



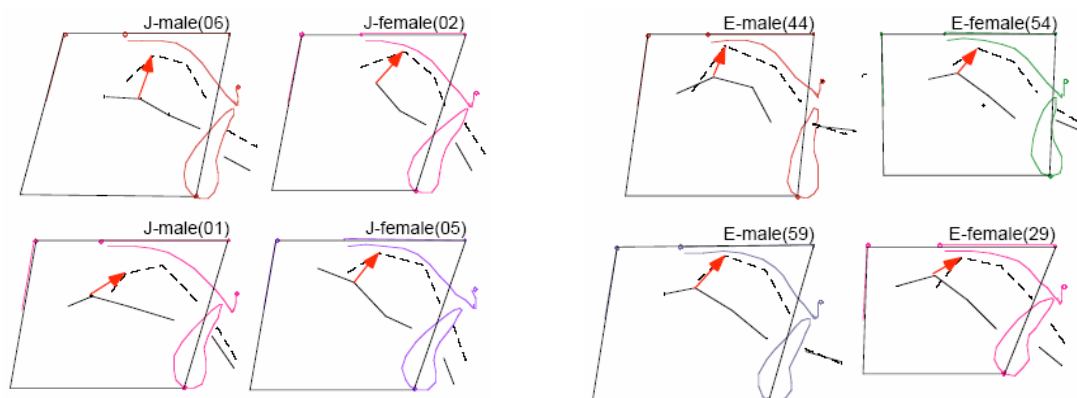
**Figura 3.7** Vogal [u]: diagrama da postura articulatória (à esquerda), distribuição da área antero-posterior do ressoador (ao centro) e musculatura implicada na articulação (à direita). De Borden et al. (2003, p.90).

### 3.1.2. Estado da Arte

De entre os vários estudos baseados na XRMB-SPD, a maioria concentra-se na variabilidade das consoantes. No entanto, o estudo de Honda et al. (1996) usou a técnica de *A-space* para determinar a influência das diferenças estruturais na articulação das vogais [i] e [a]. Foram processados os dados relativos a 10 indivíduos falantes de Inglês Americano e 10 falantes de Japonês, havendo cinco homens e cinco mulheres em cada grupo.

Verificaram-se diferenças na verticalidade dos movimentos da língua entre as duas vogais comparando informantes com diferentes distâncias faríngeas e tipologia facial. Nestes casos, a articulação das vogais era adaptada consoante o formato da *A-space*. Comparando os informantes japoneses com maior e menor distância faríngea verificou-se, nos primeiros, uma deslocação diagonal anterior do 3º eléctrodo lingual entre a postura de [a] e [i], em oposição a uma deslocação mais vertical, nos segundos (ver Figura 3.8).

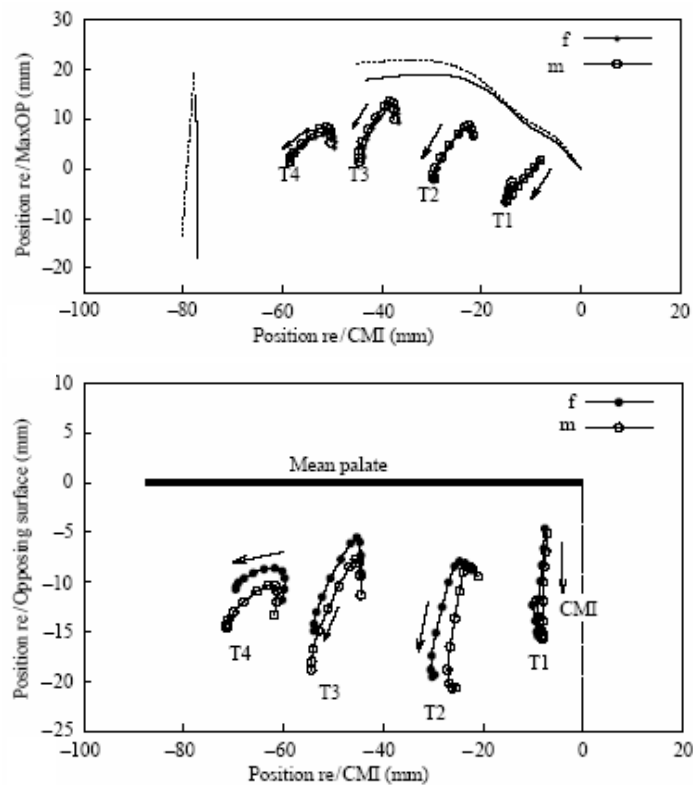
Na comparação dos informantes americanos retrognatas e prognatas verificou-se que os prognatas têm um padrão de deslocação lingual mais vertical que os retrognatas (ver Figura 3.8). O padrão encontrado nos elementos de género feminino parece assemelhar-se ao descrito em retrognatas.



**Figura 3.8** Resultados de Honda et al. (1996). À esquerda: Variação da articulação das vogais em informantes japoneses com distância faríngea curta (em cima) e longa (em baixo). À direita: Variação da articulação das vogais em informantes americanos com mandíbula prognata (em cima) e retrognata (em baixo).

Simpson (2001; 2002) comparou a produção acústica e articulatória de ditongos entre homens e mulheres. Utilizou grande parte dos informantes da XRMB-SPD (6 mulheres e 22 homens entre 18 e 37 anos falantes de Inglês Americano) comparando

produções de ditongos em sequências VV e em contexto de frase nas palavras “light” e “they all”. Na análise acústica foram medidas automaticamente as formantes dos segmentos pré-processados. Para simplificar e precisar a análise dos dados articulatórios procedeu-se à transformação e normalização das coordenadas do palato e da língua, segundo a metodologia de Hashi et al. (1998). Verificou-se que os movimentos da língua e as características acústicas das produções analisadas são muito semelhantes entre homens e mulheres (ver Figura 3.9).



**Figura 3.9** Resultados de Simpson (2002) com sobreposição das produções (em cima) e com o palato normalizado (em baixo). A informação relativa à produção das mulheres é indicada por marcas preenchidas e a dos homens por marcas não-preenchidas.

Algumas diferenças foram registadas ao nível da F1, sendo que nos homens se observaram movimentos mais rápidos do dorso da língua, uma vez que a distância do tracto vocal a percorrer era superior e a duração era menor. Nos ditongos em palavra verificou-se uma ampla deslocação vertical do eléctrodo T4 nos homens, o que não se verificou nas mulheres nem nas sequências de vogais (Simpson, 2002). Este dado parece ir de encontro às observações de Honda et al. (1996).

## 3.2. METODOLOGIA

### 3.2.1. Selecção do Corpus

Pretendeu-se, com recurso ao material existente da XRMB-SPD, analisar de forma detalhada a produção de vogais dos sujeitos em estudo. Dadas as características da base de dados e do programa de análise utilizado, o *TF32*, foi possível uma análise de parâmetros quer acústicos quer articulatorios. Assim, seleccionaram-se apenas as vogais mais representativas da língua inglesa, dialecto americano. O espaço das vogais apresenta nos seus vértices as vogais [a], [i], [u] e [æ], tal como se descreve na Secção anterior. Estas foram as vogais seleccionadas, de forma a permitir estudar contrastes acústicos e articulatorios entre elas.

De seguida realizou-se a selecção das provas a analisar, tendo-se iniciado pelas TP013 e TP014. A primeira, ilustrada na Figura 3.10 apresenta as várias vogais em monossílabos (palavras e não-palavras) do tipo CVC, sendo [s] a consoante inicial e [d] a consoante final. Após análise da transcrição fonética seleccionaram-se as 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> produções, correspondentes respectivamente às vogais [i], [a], [u] e [æ], tal como se apresenta na Figura 3.10.

**Task #13: sVd's#012 20000 msec.**

**CITATION svd's:**  
 Read each item once, clearly, with a brief pause between items.  
 (Read in column order.)

1. side – [said]	6. sawed – [səd]	11. *sud (dud) – [sʌd]
2. sewed – [sjud]	7. sid – [sid]	12. *soid (Lloyd) – [sɔɪd]
<b>3. seed – [sid]</b>	<b>8. sad – [sæd]</b>	13. *sowd (loud) – [saʊd]
<b>4. sod – [sad]</b>	9. surd – [sɜd]	14. *sood (wood) – [sʊd]
<b>5. sued – [sud]</b>	10. said – [sed]	15. *sayed (bayed) – [seɪd]

**Figura 3.10** Descrição da prova TP013. Adaptado de Westbury (1994).

A segunda prova, TP014, apresenta cada uma das vogais de forma isolada, dado que cada falante teve que ler apenas a vogal de um conjunto de palavras. Após análise da transcrição fonética seleccionaram-se as 3<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> produções, correspondentes respectivamente às vogais [u], [a], [i] e [æ], tal como se apresenta na Figura 3.11.

**Task #14: vowels#013 15000 msec.**

**CITATION VOWELS:**  
Read each item once, slowly and clearly, with a brief pause between items.  
(Read in column order.)

1. [ɜ] (dirt)	5. [ɔ] (bought)	9. [i] (beet)
2. [ʌ] (but)	6. [oʊ] (boat)	10. [ɛ] (bet)
3. [u] (boot)	7. [ɪ] (bit)	11. [ʊ] (foot)
4. [eɪ] (date)	8. [a] (hot)	12. [æ] (bat)

**Figura 3.11** Descrição da prova TP014. Adaptado de Westbury (1994).

Dado que a análise de apenas dois exemplares de cada vogal para cada informante seria manifestamente insuficiente para uma boa caracterização acústica das mesmas, procedeu-se numa segunda fase à selecção de palavras, nas provas de leitura de sequências de palavras, em que estivessem presentes as vogais seleccionadas. A selecção inicial é apresentada na Tabela 3.2, onde se verifica uma grande assimetria na incidência das várias vogais na base de dados, bem como no contexto articulatorio em que se encontram. Foram excluídas desta listagem as palavras que continham as vogais pretendidas em contexto nasal ou em ditongo. Assim, por ordem decrescente, a vogal [æ] aparece em 25 palavras, a vogal [i] em 22, a vogal [u] em 12 e a vogal [a] em apenas 5 palavras.

Para as três vogais com maior incidência na base de dados realizou-se apenas uma análise por palavra, apesar da existência de repetição de algumas delas. Dado que a vogal [a] surge apenas numa palavra, repetida cinco vezes, optou-se por efectuar a análise de todas as produções de forma a reduzir a diferença de incidência entre as várias vogais. Assim, foram analisadas 27 vogais em palavra com a seguinte distribuição: 5 produções da vogal [a], 10 produções da vogal [i], 5 produções da vogal [u] e 7 produções da vogal [æ].

É de notar que o corpus constituído pelas diferentes palavras seleccionadas não foi especialmente desenhado para o efeito que se pretende neste estudo, contendo as vogais em



diferentes contextos coarticulatórios, de acentuação e de duração. Este facto deve levar a uma atenção redobrada na análise dos resultados, pelas limitações que lhe estão implícitas.

[a]	Provas	Repetições
Problem	1, 37, 44, 49, 99	5
TOTAL		5

[i]	Provas	Repetições
Dormitory	1, 17, 46, 83	4
Street	2, 23, 46, 100	4
Even	2	1
People	5, 32, 35, 62	4
Already	6	1
Country	21, 49, 58, 66	4
Before	32	1
Early	41	1
Become	44	1
Began	65	1
TOTAL		22

[u]	Provas	Repetições
School	1, 8, 22, 73, 91	5
Shoot	9, 61, 66, 89	4
Through	25	1
Beautiful	33	1
Smooth	35	1
TOTAL		12

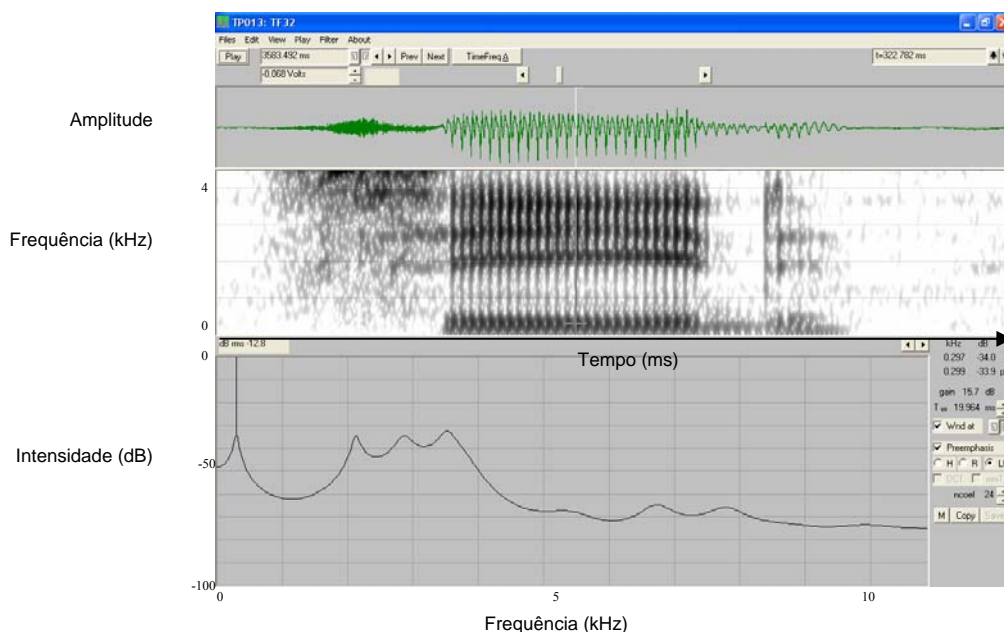
[æ]	Provas	Repetições
Has	1	1
Back	8, 17, 76, 99	4
Had	22, 23, 58, 61, 89	5
That	25, 70, 73, 83, 89	5
Cash	25, 65, 66, 73, 89	5
Have	35	1
Wax	76, 91, 95, 99	4
TOTAL		25

**Tabela 3.2** Palavras que contêm as vogais seleccionadas e respectivas provas onde se encontram.

### 3.2.2. Procedimentos de análise acústica

O estudo iniciou-se pela recolha de dados bibliográficos que servissem de base de comparação à posterior análise dos sujeitos. Verificou-se que a análise acústica das vogais é frequentemente realizada tendo em consideração também a terceira formante (F3), pelo que se recolheram dados representativos da norma de F1, F2 e F3 de cada uma das quatro vogais seleccionadas no Inglês Americano (ver Figura 3.4).

A análise acústica destas vogais foi realizada manualmente no programa *TF32* com as funções *Wave plot*, *TimeFreq A* e *Spec*. Foi seleccionado um ponto na região média estável de cada vogal e extraídos os valores das formantes F1, F2 e F3 através dos picos do espectro LPC e do espectrograma, tal como se mostra na Figura 3.10.



**Figura 3.10** Análise da F1 da vogal [i] do informante JW61 na prova TP013 com o programa TF32.

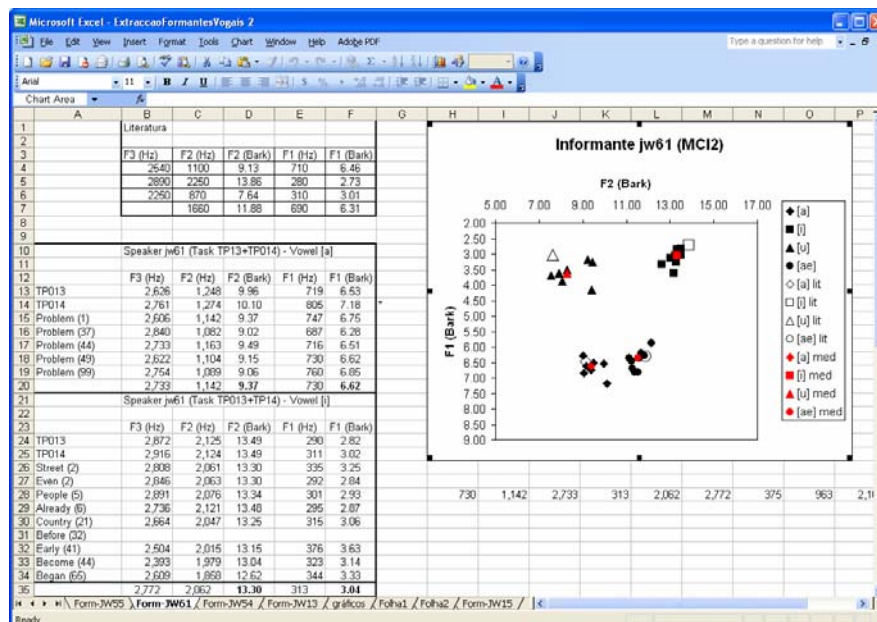
Os valores, posteriormente registados numa folha do programa *Excel*, foram automaticamente convertidos da unidade Hertz (Hz) para a unidade Bark, sendo posteriormente utilizados na criação de gráficos de dispersão para a visualização dos espaços das vogais para cada informante (ver Figura 3.11). A escala de Bark é uma medida psicoacústica, aproximada à escala mel, que varia entre 1 e 24 e corresponde à 24 bandas críticas de frequência da audição humana. Neste trabalho a fórmula utilizada para converter Hz em Bark foi a proposta por Zwicker e Terhardt (1980):

$$\text{Bark} = 13 \arctan (0.00076 f) + 3.5 \arctan ((f / 7500)^2)$$

A análise acústica das vogais em palavras foi efectuada da mesma forma que nas provas TP013 e TP014, tendo as formantes sido acrescentadas às matrizes previamente existentes, o que permitiu obter tabelas de dispersão com resultados mais significativos. Nos gráficos de dispersão foram incluídos os valores normativos de cada vogal, segundo Ladefoged (2006), para posterior comparação.

A análise dos resultados foi ainda baseada numa tabela com a mediana das formantes de cada vogal para cada informante. Os valores das formantes extraídas na prova TP013 são apresentados isoladamente na mesma tabela, de forma a permitir cruzamento de informação com a análise articulatória das vogais efectuada na Secção 3.3.2.

A análise dos resultados permitiu comparação com a literatura, entre os informantes e entre as variáveis *género* e *oclusão dentária*.



**Figura 3.11** Pormenor do registo de dados da análise acústica das vogais e da construção de gráficos de dispersão no programa *Excel* para o informante jw61.

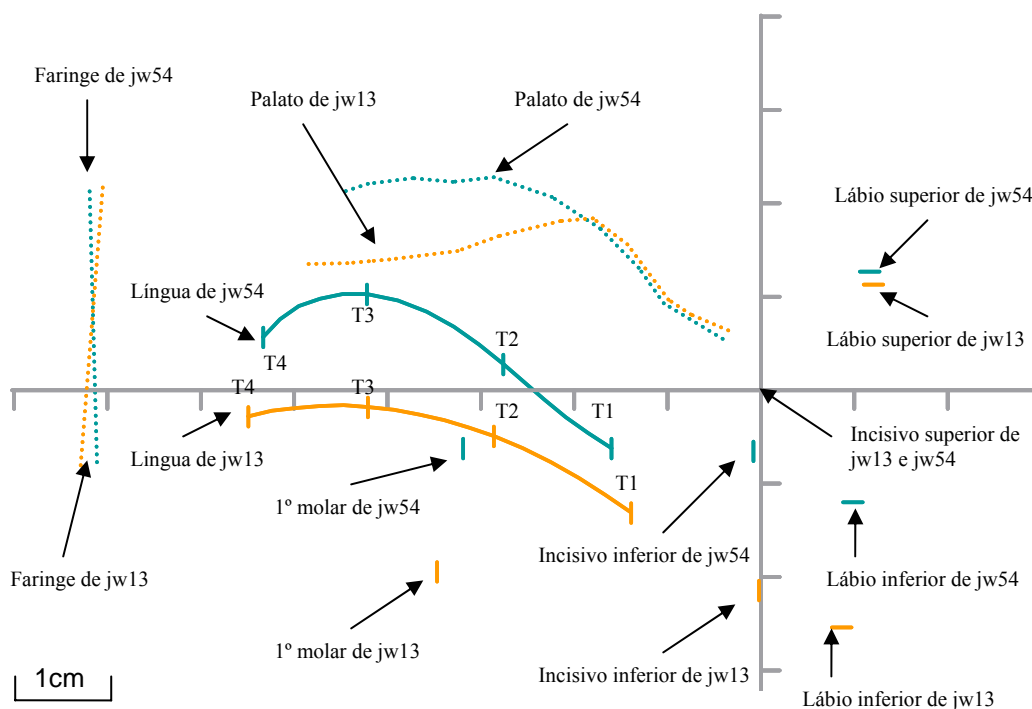
### 3.2.3. Procedimentos de análise articulatória

A análise articulatória das vogais foi realizada com base nas mesmas vogais estudadas na análise acústica. Foi seleccionada, para cada informante, uma produção representativa de cada vogal proveniente da prova TP013. As coordenadas de cada eléctrodo no momento de recolha para a análise acústica foram exportadas para um ficheiro de texto (ver Figura 3.12) que foi editado de forma a ser posteriormente lido no programa *Matlab*.

As imagens de cada vogal visualizadas no programa *TF32* no momento de exportação das coordenadas foram extraídas pela função *Copy image* sendo de seguida coloridas, com as mesmas cores usadas na caracterização dos informantes (ver Secção 2.2.3.2.) e sobrepostas (ver Figura 3.13).

JW61Vogalltp013 - Bloco de notas										
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda										
B584.052 ms F:\corpora\XrayMicrobeam\UBDB\JW61\TP013										
T	x	y	v	Lip	x	y	v	Man	x	y
-14.72	12.08	4.87	13.42	14.15	1.57	-4.55	-6.13	2.15		
-26.71	18.83	2.41	7.87	-9.88	2.03	-32.16	-6.83	4.36		
-38.67	18.63	5.51								
-50.42	14.71	7.04								

**Figura 3.12** Ficheiro de texto contendo as coordenadas dos eléctrodos móveis na produção da vogal [i] pelo informante JW61 na prova TP013.



**Figura 3.13** Sobreposição de imagens extraídas do TF32 referentes à produção da vogal [a] dos informantes jw54 (a verde) e jw13 (a amarelo) na prova TP013.

Foi analisado o posicionamento dos articuladores segundo os seguintes parâmetros: postura da língua, região da elevação da língua, grau de abertura da boca (através dos eléctrodos da mandíbula) e posicionamento dos lábios. Seguiu-se a comparação com as descrições efectuadas na bibliografia, entre os informantes e entre as variáveis em estudo.

Procedeu-se ao estudo da relação entre os dados resultantes da análise acústica e articulatória de forma a compreender possíveis relações entre o posicionamento dos articuladores e as características acústicas observadas.

### 3.3. RESULTADOS

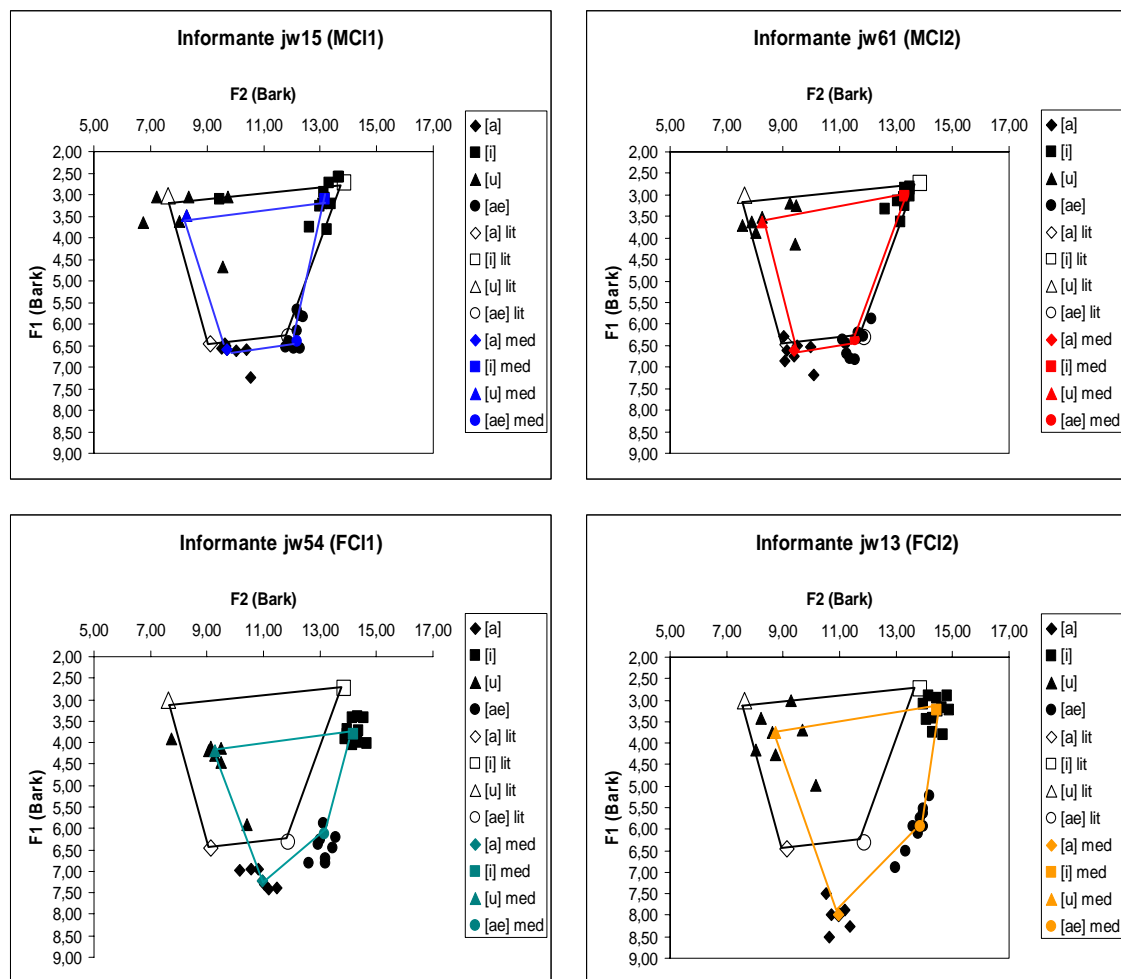
#### 3.3.1. Análise acústica de vogais

As amostras de vogais foram recolhidas e analisadas quanto às formantes F1, F2 e F3. A Tabela 3.3 apresenta a média da frequência das formantes de cada uma das vogais, para os vários informantes. São também apresentados os respectivos valores da prova TP013, de forma a facilitar o cruzamento de dados com a análise articulatória de vogais, uma vez que só esta tarefa é analisada.

Vogais		[a]			[i]			[u]			[æ]		
Formantes		F1(Hz)	F2(Hz)	F3(Hz)	F1(Hz)	F2(Hz)	F3(Hz)	F1(Hz)	F2(Hz)	F3(Hz)	F1(Hz)	F2(Hz)	F3(Hz)
Bibliografia		710	1100	2540	280	2250	2890	310	870	2250	690	1660	2490
jw15	Mediana	726	1203	2597	321	2025	2754	361	965	2200	703	1737	2507
	TP013	727	1335	2747	321	1157	2117	315	976	2189	611	1737	2517
jw61	Mediana	730	1142	2733	313	2062	2772	375	963	2165	698	1578	2604
	TP013	719	1248	2626	290	2125	2872	335	1155	2115	635	1725	2704
jw54	Mediana	811	1451	2601	395	2367	2867	439	1123	2610	667	2015	2850
	TP013	835	1561	2899	415	2423	2867	433	1166	2610	634	2006	2852
jw13	Mediana	919	1447	2600	332	2468	3129	388	1035	2605	642	2250	2848
	TP013	963	1534	2660	332	2660	3143	384	1196	2585	608	2288	2862

**Tabela 3.3** Apresentação das formantes F1, F2 e F3 das vogais [a], [i], [u] e [æ] segundo a bibliografia (Ladefoged, 2006) e os resultados obtidos no estudo.

Posteriormente foram produzidos gráficos dispersão considerando a F1 e F2 na unidade Bark. Estes resultados permitem uma comparação entre os vários informantes, quanto à variabilidade das várias amostras de cada vogal, e à proximidade das mesmas em relação aos valores de referência (Ladefoged, 2006). É também facilitada a comparação entre grupos relativamente às variáveis *oclusão dentária* e *género*. Os gráficos de dispersão são apresentados na Figura 3.14.



**Figura 3.14** Gráficos de dispersão dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13, com representação das formantes F1 e F2 das vogais [a], [i], [u] e [æ] e comparação entre o espaço das vogais obtido com os valores normativos apresentados por Ladefoged (2006) e com os valores medianos obtidos no estudo.

Observa-se que o informante jw15 (MCI1) apresenta bastante variabilidade na produção da vogal [u], sendo evidente um afastamento da F1 e F2 de algumas produções para valores superiores aos padrões apontados pela bibliografia consultada, sendo que um deles se aproxima das produções da vogal [a]. Uma das produções de [i] encontra-se muito desviada, apresentando características acústicas mais próximas de [u]. As restantes vogais apresentam alguma variabilidade interna, mantendo-se porém próximas dos valores de referência. O espaço das vogais obtido pela mediana das várias produções apresenta-se bastante próximo do descrito na literatura.

No que respeita ao informante jw61 (MCI2), há uma aproximação aos valores de referência em todas as vogais. É de notar que algumas amostras da vogal [u] se afastam da

referência, quer por aumento de valores da frequência de F1 quer de F2. Há alguma aproximação entre as produções de [a] e de [æ], embora nunca se sobreponham. Algumas das amostras de [i] estão também desviadas da norma devido a valores ligeiramente reduzidos de F1 e F2. No entanto, observando o espaço das vogais, verifica-se tal como em jw15 uma grande proximidade com os valores normativos.

A análise acústica das vogais produzidas por jw54 (FC11) apresenta, de uma forma geral, valores desviados da norma. O maior desvio verifica-se na vogal [u], onde apenas uma amostra se encontra próxima do valor de referência, sendo que das restantes, dispersas por aumento da F1 e F2, há uma que se aproxima bastante dos valores próprios das vogais [a] e [æ]. As amostras da vogal [i] encontram-se deslocadas para valores superiores de F1, em relação à norma, enquanto que as amostras de [æ] demonstram desvio semelhante por aumento de F2, o que aproxima acusticamente as produções das duas vogais. As amostras de [a] são deslocadas por aumento simultâneo de F1 e F2 em relação à norma. O espaço das vogais obtido no estudo apresenta-se bastante desviado do de Ladefoged (2006), principalmente nas vogais [u] e [a].

Os valores das formantes do informante jw13 (FC12) são aproximados aos verificados na descrição anterior, na medida em que todas as vogais se encontram desviadas dos valores de referência. No entanto, as diferenças são mais evidentes nas vogais [a] e [æ], sendo os desvios mais acentuados. No que respeita às vogais [æ] e [i] verifica-se uma aproximação em algumas amostras. As amostras da vogal [u], apesar de desviadas da norma encontram-se mais próximas do que no informante anterior, verificando-se ainda um “outsider” que se aproxima das produções de referência de [a] e [æ].

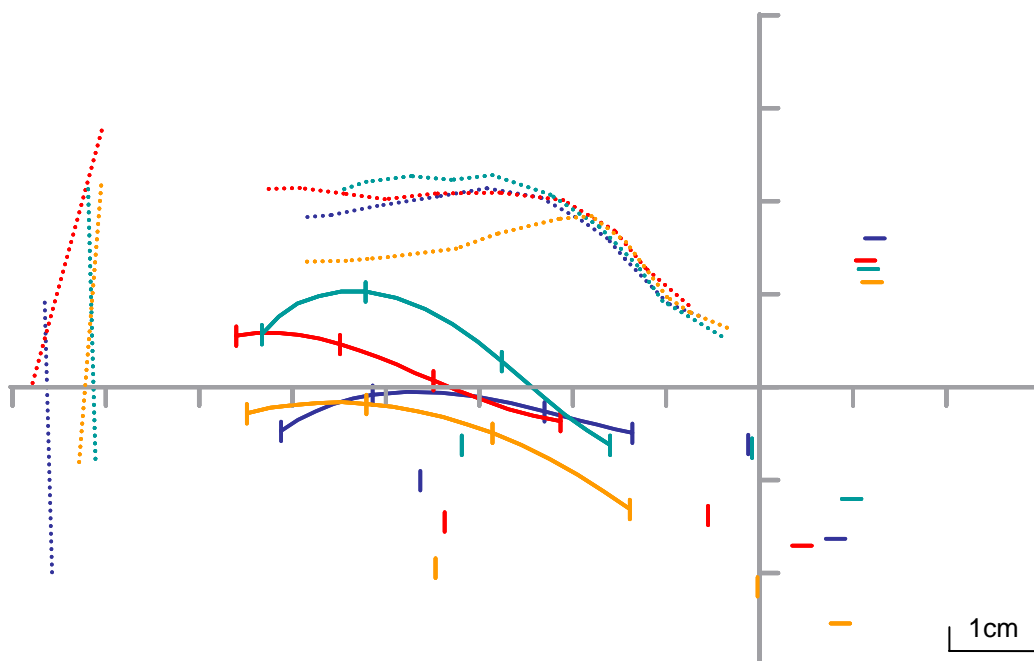
Quando comparados em grupos, as diferenças aparentemente mais evidentes surgem não em relação à variável *classe de oclusão dentária* (MC11+FC11 vs MC12+FC12), mas em relação à variável *género* (MC11+ MC12 vs FC11+FC12). Assim, nota-se que nas mulheres (jw54 e jw13) há um deslocamento mais acentuado da frequência das formantes de todas as vogais em relação aos valores de referência, com subida de F1 e F2. Nos homens (jw15 e jw61) as vogais são mais próximas da norma, com excepção do [u], que apresenta maior dispersão. Este facto pode levantar questões importantes relativas aos dados de origem da norma apresentada por Ladefoged (2006), uma vez que na fonte consultada não é descrita a amostra utilizada para a norma. Assim, caso o estudo tenha

como base apenas informantes do género masculino, pode ser natural que jw54 e jw13 apresentem valores tão divergentes. No que respeita à variável *oclusão dentária* não se observam diferenças que mereçam destaque.

### 3.3.2. Análise articulatória de vogais

A análise articulatória das vogais foi baseada na sobreposição das imagens do *TF32* como se mostra nas Figuras 3.15, 3.16, 3.17 e 3.18 <sup>2</sup>. Procedeu-se à análise e comparação tendo em conta a bibliografia e as diferenças entre os vários informantes.

A bibliografia descreve a vogal [a] como baixa e posterior, pelo que se espera uma posição baixa da língua e da mandíbula (Borden, et al., 2003; Ladefoged, 2006). Tais características verificam-se em todos os informantes (ver Figura 3.15), quando comparados com as imagens das restantes vogais através da marca dos incisivos e 1º molar inferiores.



**Figura 3.15** Imagens sobrepostas da produção da vogal [a] na prova TP013 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

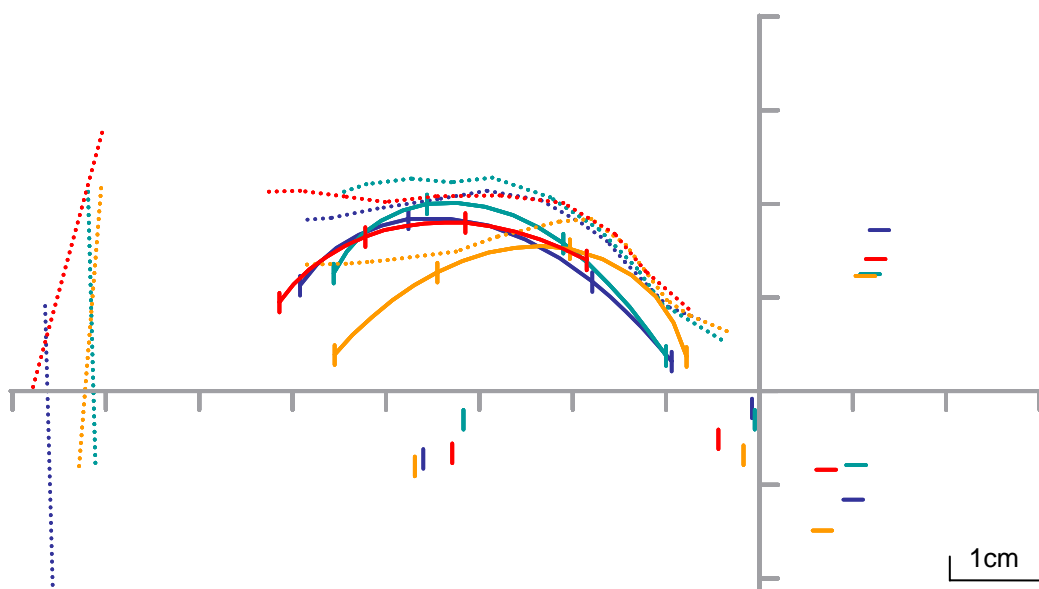
<sup>2</sup> Para melhor compreender a localização das várias estruturas representadas nas Figuras extraídas do *TF32* sugere-se a observação das legendas da Figura 3.13.



É possível observar diferenças entre os vários informantes, principalmente no que respeita à posição da língua, uma vez que o informante jw54 (FC11) apresenta uma elevação do dorso da língua ao nível do eléctrodo T3 que não se verifica nos restantes. A posição mais baixa da língua é usada por jw13 (FC12) que a acompanha de uma maior abertura da mandíbula e do lábio inferior. Se considerarmos que o palato deste informante é mais baixo na região posterior, é natural que jw13 proceda a esta compensação, de forma a criar um tubo de ressonância adequado à produção de [a]. O informante com a posição do ápex da língua mais posterior, observada através do eléctrodo T1, é jw61 (MC12), o que também se observou na deglutição (ver Secção 2.3.2.2.) e na amplitude máxima da infraversão externa da língua (ver Secção 2.3.2.3.).

Não parece haver evidência de relações pertinentes na comparação dos informantes quanto ao *género* ou à *oclusão dentária*.

Borden et al. (2003) e Ladefoged (2006) classificam a vogal [i] como anterior e alta, o que se traduz numa posição alta da região anterior da língua. Tal facto pode ser observado nos quatro informantes (ver Figura 3.16) uma vez que quando comparada com as restantes vogais representadas, esta apresenta a posição mais alta da língua.



**Figura 3.16** Imagens sobrepostas da produção da vogal [i] na prova TP013 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

Encontra-se alguma variabilidade na produção quando comparando os vários informantes. jw15 (MC11) e jw54 (FC11) apresentam uma configuração e localização da

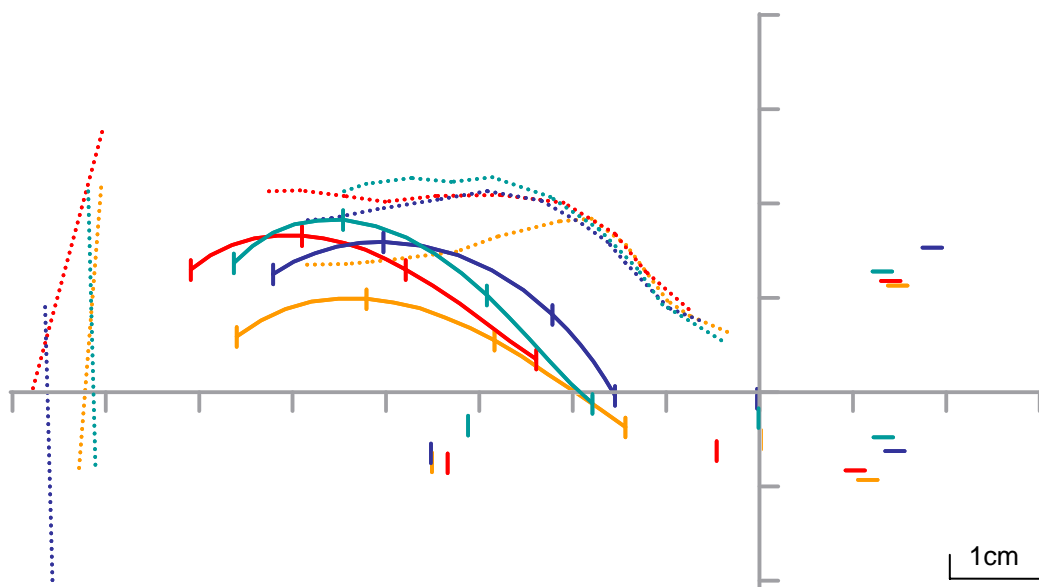
língua muito aproximada. Novamente, jw61 (MCL2) apresenta o ápex da língua (T1) numa região mais posteriorizada que os restantes informantes (cerca de 1cm), o que resulta numa posição mais posteriorizada de toda a língua, principalmente quando comparado com jw54 e jw13.

A posição lingual de jw13 (FCL2) é de destacar, uma vez que ao contrário dos restantes informantes, a elevação é mais acentuada ao nível do segundo eléctrodo da língua (T2) e mais baixa nos mais posteriores (T3 e T4). Tal facto parece estar novamente relacionado com a forma do seu palato na região anterior que exige uma posição adaptada da língua para criar um tubo ressoador com as mesmas dimensões, de forma a produzir a mesma vogal. Considerando a musculatura descrita na utilização de cada vogal (Borden, et al., 2003), jw13 parece utilizar músculos acessórios aos usados pelos restantes informantes, como é o caso do músculo superior longitudinal, um músculo intrínseco da língua responsável pela elevação do ápex da língua, tal como acontece em [t] ou em [s].

Ao analisar as imagens tendo em consideração o *género* é de referir que o grupo masculino (jw15 e jw61) apresenta a base da língua mais posteriorizada em relação ao feminino (jw54 e jw13). Quanto à *oclusão dentária* destacam-se as posições linguais já descritas de jw61 e jw13, ambos do grupo de classe II, que parecem revelar adaptações articatórias para a articulação do [i].

A vogal [u] é caracterizada como posterior, alta e arredondada (Borden, et al., 2003; Ladefoged, 2006), o que significa que há uma elevação da região posterior da língua, acompanhada de arredondamento e ligeira protrusão dos lábios.

A elevação posterior da língua pode observar-se em todos os informantes (ver Figura 3.17), principalmente ao nível do terceiro eléctrodo (T3). Da mesma forma os eléctrodos labiais (UL e LL) encontram-se mais anteriorizados nesta vogal que nas restantes, principalmente ao nível do lábio inferior. Dado que não há avanço da mandíbula pode concluir-se que esta anteriorização é realizada pelo movimento dos próprios lábios.

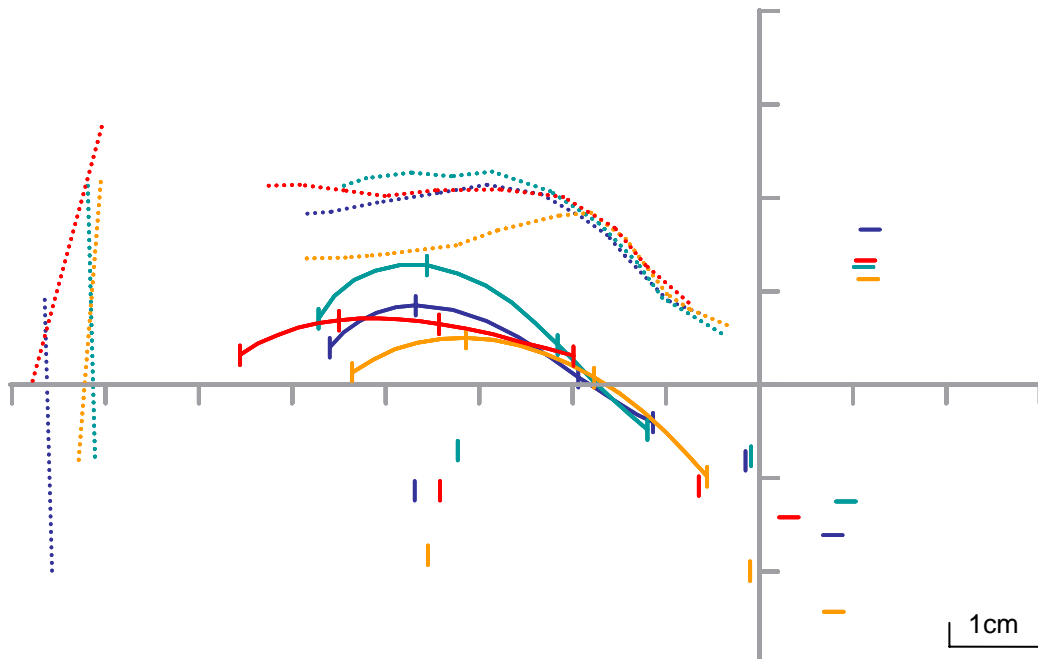


**Figura 3.17** Imagens sobrepostas da produção da vogal [u] na prova TP013 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

Novamente observa-se posteriorização da região anterior da língua em jw61 (MCI2) e adaptação da elevação da língua ao formato do palato em jw13 (FCI2), que é mais baixo na região posterior. O informante com maior protrusão labial é jw15 (MCI1).

Considerando o *género* é de referir que o grupo masculino (jw15 e jw61) apresenta novamente a base da língua mais posteriorizada em relação ao feminino (jw54 e jw13).

A bibliografia descreve a vogal [æ] como baixa e central, pelo que se espera, tal como em [a], uma posição baixa da língua e da mandíbula (Borden, et al., 2003; Ladefoged, 2006). Este som é aquele que mais se destaca pela variabilidade entre os informantes. A configuração da língua de jw15 (MCI1), jw54 (FCI1) e jw13 (FCI2) apresenta uma elevação na região de T3 sendo que o ápex se encontra numa posição baixa (ver Figura 3.18). A de jw54 é bastante próxima da apresentada na vogal [a], estando no entanto mais elevada e anterior em [æ]. A configuração da língua de jw61 (MCI2) está pouco diferenciada, em relação aos restantes informantes, encontrando-se quase horizontal e bastante afastada do palato. Pode considerar-se que, comparativamente com os restantes informantes, jw54 produz [æ] usando activamente o músculo estiloglosso para elevar o dorso da língua, tal como em [u], embora também recorra à musculatura intrínseca da língua, dada a sua posição mais anteriorizada (Borden, et al., 2003).



**Figura 3.18** Imagens sobrepostas da produção da vogal [æ] na prova TP013 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

O informante com maior anteriorização da língua é jw13 e o de maior posteriorização é jw61. O grau de abertura da mandíbula difere entre todos os informantes o que é visível pelo posicionamento dos eléctrodos da mandíbula (MM e MI) e do lábio inferior (LL).

Relativamente à *oclusão dentária* observa-se um posicionamento da língua muito aproximado no grupo de classe I (jw15 e jw54), enquanto que no grupo de classe II (jw61 e jw13) se observa desvio em relação ao primeiro, embora com adaptações diferentes, jw61 (MC12) mais posterior e jw13 (FC12) mais anterior.

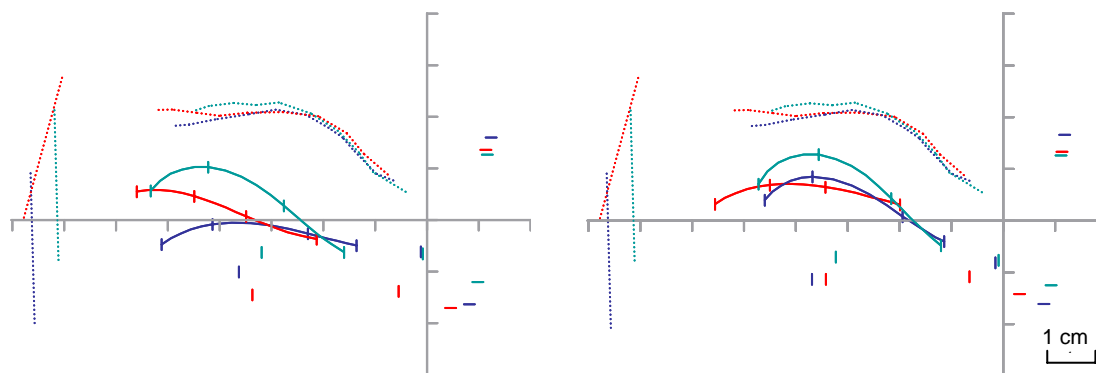
### 3.3.3. Relações entre dados acústicos e articulatórios

Na análise acústica podemos observar que na generalidade, os valores das formantes se encontram mais elevados nos informantes de género feminino, com diferenças médias que chegam a 140 Hz em F1, a 475 Hz em F2 e a 425 Hz em F3, enquanto que relativamente à oclusão dentária as diferenças médias nunca são superiores a 70 Hz, com excepção da F3 da vogal [i]. Se considerarmos as medidas M1 do *espaço-A*

*modificado*, apresentadas no Capítulo 2 para cada um dos informantes, verificamos que a distância antero-posterior é cerca de 0.5 cm superior nos informantes de género masculino. Segundo os pressupostos teóricos de Titze (2000) relativos à influência das características do tubo ressoador na variação das formantes, sabemos que quando este aumenta o seu comprimento, as frequências das formantes reduzem. Assim, uma vez que o tubo ressoador é menor nas mulheres do que nos homens, podemos inferir que é natural haver uma diferença tão marcada na comparação das formantes entre os géneros.

Após a obtenção dos resultados relativos à produção das vogais pelos quatro informantes podemos constatar que existem variadas diferenças de ordem individual. No entanto, é difícil relacionar os dados acústicos da prova TP013 com a observação articulatória já apresentada, devido a duas limitações relacionadas com as características da XRMB-SPD. A primeira é relativa à ausência de determinação da cavidade faríngea, dado que não há informação dinâmica da parede posterior da faringe nem das estruturas posteriores à base da língua. A segunda refere-se à difícil comparação da cavidade oral, dado só estar determinado o plano sagital e haver diferenças estruturais, nomeadamente na forma do palato.

De forma a minorizar estas limitações excluímos da comparação o informante jw13, uma vez que a forma do seu palato é muito divergente das dos restantes informantes, o que dificultaria o processo de comparação visual. Foi ainda apenas tida em consideração a cavidade oral e consequentemente a F2, por ser uma ressonância deste tubo ressoador (Borden, et al., 2003). Quanto às vogais a comparar excluímos a vogal [u], por ter um alongamento do tubo ressoador provocado pelo arredondamento dos lábios que influencia as formantes, e a vogal [i], por ter uma elevação muito acentuada da língua na região da cavidade oral, que dificulta a comparação entre os informantes. Concentramo-nos, então, nas vogais [a] e [æ] (ver Figura 3.19).



**Figura 3.19** Imagens sobrepostas da produção da vogal [a] (à esquerda) e [æ] (à direita) na prova TP013 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho) e jw54 (verde).

Pela observação da imagem articulatória da vogal [a] o informante jw54 tem a maior elevação da língua, seguido de jw61 e jw54. Hipoteticamente podemos prever que a frequência de F2 é progressivamente menor nestes três informantes, dado que a cavidade oral vai aumentando. No entanto, analisando os valores acústicos na prova TP013 (ver Tabela 3.3) verificamos que a F2 de jw54 é 1561 Hz, a de jw61 é 1248 Hz e a de jw15 é 1335 Hz. Assim, nesta vogal a visão do plano sagital da língua e do palato parece não ser suficiente para confirmar as variações definidas teoricamente por Titze (2000). Complementando esta análise com a observação dos lábios, verificamos que jw61 tem uma postura mais posterior do lábio inferior em relação aos restantes informantes. Se interpretarmos este dado como uma redução do comprimento do tubo ressonador, seria esperado, segundo o mesmo autor (Titze, 2000), obter um aumento das formantes neste informante. Novamente tal facto não acontece com jw61, uma vez que a sua F2 é inferior à de jw15.

Quanto à vogal [æ] observamos que a postura da língua é novamente mais elevada no informante jw54, seguida de jw15 e de jw61, com um grau de elevação muito próximo nos dois últimos. Hipoteticamente podemos igualmente prever que a F2 é progressivamente menor nestes três informantes, dado que a cavidade oral vai aumentando. Verificamos, pela análise acústica, que jw54 tem uma F2 de 2006 Hz, jw15 tem 1737 Hz e jw61 tem 1725 Hz. Estes valores correspondem ao esperado, segundo Titze (2000), parecendo confirmar que com uma constrição na cavidade oral, F2 aumenta. Observa-se ainda, tal como na configuração articulatória, uma proximidade dos valores de jw15 e jw61.

### 3.4. SUMÁRIO

Neste capítulo procedemos à descrição das propriedades articulatórias e acústicas das vogais. Constatámos que há diferentes classificações das vogais, de natureza articulatória e acústica, e que o espaço articulatório das vogais tem relação directa com as suas propriedades acústicas. Assim, procurámos explorar, segundo a teoria acústica da produção de fala, de que forma a configuração dos articuladores influencia as formantes de cada vogal, e qual a musculatura implicada em cada uma.

De entre os estudos enunciados na introdução, procurámos conhecer as particularidades daqueles que incidiram sobre vogais e variáveis relacionadas com o nosso estudo. Constatámos que diferenças no espaço articulatório se traduzem em adaptações articulatórias mas que não há evidência de grandes diferenças a nível acústico (Honda, et al., 1996; Simpson, 2001; Simpson, 2002).

A metodologia foi definida com vista a analisar as vogais [a, i, u, æ] em contexto de sílaba e palavra na análise acústica, e apenas em contexto de sílaba na análise articulatória. A análise considerou diferenças individuais e relacionadas com as variáveis *género* e *oclusão dentária*.

Os resultados da análise acústica mostraram, no género feminino, uma grande deslocação das formantes para valores superiores à norma, não se tendo encontrado relações acústicas relacionadas com a oclusão dentária. Por ausência de informação na fonte bibliográfica, questionámo-nos se a norma apresentada por Ladefoged (2006) inclui informantes de género feminino, dado que tal facto poderia explicar a razão do desvio encontrado.

A análise articulatória não evidenciou diferenças pertinentes na comparação dos informantes quanto ao *género* ou à *oclusão dentária* relativamente à vogal [a]. Na generalidade observámos que a base da língua se encontra mais posteriorizada no grupo masculino em relação ao feminino, o que já se verificara no Capítulo 2 durante a caracterização dos informantes. Relativamente às vogais [i, æ] observámos um posicionamento da língua muito aproximado no grupo de classe I, e diferentes formas de adaptação articulatória no grupo de classe II, sendo a elevação da língua realizada numa localização mais posterior em jw61 (MC12) e mais anterior em jw13 (FC12). Este facto pode ser justificado pelas diferentes configurações estruturais do palato, que verificámos

no Capítulo 2, o que parece implicar o uso de diferentes grupos musculares na adaptação articulatória da língua.

O cruzamento de dados acústicos e articulatórios foi limitado por características próprias da XRMB-SPD. Verificámos que os pressupostos teóricos de Titze (2000), relativos à influência da articulação na variação acústica das vogais, parecem justificar as relações encontradas na F2 da vogal [æ], mas não na da vogal [a]. As restantes formantes e vogais foram excluídas desta análise.



# CAPÍTULO 4

## ANÁLISE DE SONS CONSONÂNTICOS

### 4.1. INTRODUÇÃO

#### 4.1.1. Caracterização de consoantes

As consoantes são sons caracterizados por uma obstrução ou constrição em um ou mais pontos do tracto vocal (Ladefoged, 2006). Tradicionalmente em fonética articulatória os sons consonânticos caracterizam-se pelo ponto e modo de articulação, sendo ponto a região do tracto vocal em que se situa a maior constrição imposta pelos articuladores do canal bucal e modo a forma de passagem do ar pelo tracto vocal (ver Tabela 4.1). São também parâmetros importantes na caracterização dos sons consonânticos a posição do palato mole, que distingue sons nasais de sons orais, e o estado das pregas vocais, que distingue sons vozeados de não-vozeados (Mateus, et al., 2005).

Modo de articulação	Ponto de articulação								
		Bilabial	Lábio-dental	Dental	Alveolar	Palato-alveolar	Palatal	Velar	Uvular
	Oclusiva	p b			t d			k g	
	Nasal	m			n		ɲ		
	Fricativa		f v		s z	ʃ ʒ			ʁ
	Vibrante				r				
	Aproximante lateral				l		ʎ		

**Tabela 4.1** Classificação das consoantes da língua portuguesa segundo ponto e modo de articulação, usando o Alfabeto Fonético Internacional. Adaptado de IPA (1999, p.126).

A língua inglesa é caracterizada por 26 consoantes divididas em 6 modos de articulação: oclusivas nasais, oclusivas, fricativas, africadas, aproximantes e aproximantes laterais (IPA, 1999; Ladefoged, 2006). É de referir a existência da consoante [h] que, pelo facto de ser produzida na glote (embora não-vozeada) e não exigir uma postura articulatória específica, não é classificada segundo o modo por alguns autores (Ladefoged,

2006). No entanto, pode ser classificada como fricativa glotal, dadas as suas características acústicas (IPA, 1999). Na Tabela 4.2 pode ser observada a classificação das consoantes da língua inglesa, quanto ao modo e ponto de articulação.

Modo de articulação	Ponto de articulação								
		Bilabial	Lábio-dental	Dental	Alveolar	Pós-alveolar	Palatal	Velar	Glotal
	Oclusiva	p b			t d			k g	
	Africada					tʃ dʒ			
	Nasal	m			n			ŋ	
	Fricativa		f v	θ ð	s z	ʃ ʒ			h
	Aproximante				ɹ		j	w	
	Aproximante lateral				l				

**Tabela 4.2** Classificação das consoantes da língua inglesa dialecto americano segundo ponto e modo de articulação, usando o Alfabeto Fonético Internacional. Adaptado de IPA (1999, p.41).

Serão de seguida descritos apenas alguns sons consonânticos, aqueles que mais se relacionam com os objectivos do estudo: as fricativas e as oclusivas não vozeadas.

#### 4.1.1.1. Fricativas

As fricativas são sons contínuos gerados por uma fonte de ruído, no caso das fricativas surdas, resultante da passagem de ar numa região estreita formada pela aproximação de dois articuladores (Borden, et al., 2003). Na língua inglesa os pontos de articulação das fricativas são: labiodental, dental, alveolar e pós-alveolar. A fonte sonora pode ser exclusivamente produzida nestes pontos, no caso de fricativas não-vozeadas, ou simultaneamente com um sinal glótico, nas oclusivas vozeadas. As fricativas dentais não serão fruto de uma descrição detalhada, ao contrário das restantes, dado não fazerem parte da amostra deste trabalho.

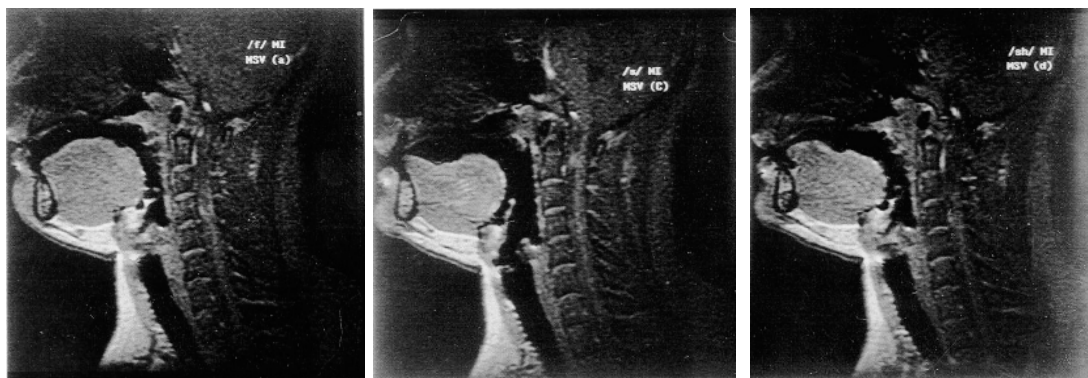
As fricativas labiodentais /f, v/ são produzidas pela aproximação do lábio inferior ao bordo incisal dos incisivos superiores (Mateus, et al., 2005). Este movimento é caracterizado por (Palmer, 2003): ligeira retracção da mandíbula (m. pterigoideu medial), abaixamento mandibular ligeiro (ventre anterior do m. digástrico, m. milo-hioideu, m. génio-hioideu e m. pterigoideu lateral), tensão e elevação do lábio inferior (m. bucinador, m. risório, m. orbicular dos lábios e m. do mento) e encerramento glótico (ver Figura 4.1).

Nas fricativas alveolares /s, z/ a constrição é formada entre a região alveolar do palato e a língua (Mateus, et al., 2005), podendo haver variação quanto à região da língua que é elevada (ver Figura 4.1). Muitos falantes produzem estes sons elevando o ápex da língua, enquanto que outros baixam o ápex para a face lingual dos incisivos inferiores, produzindo a constrição com o corpo da língua (Borden, et al., 2003).

Nas fricativas /s, z/ forma-se uma depressão na linha média da língua, originando um canal para a passagem do ar. Assim, há elevação dos bordos laterais da língua que vedam este canal com os dentes da arcada superior, evitando a fuga de ar lateral que em muitas situações está na origem de sigmatismo lateral. É importante que os incisivos superiores e inferiores estejam aproximados, uma vez que a passagem do ar pelo estreitamento entre os dentes é fundamental para criar a turbulência que caracteriza estes sons. Quando esta aproximação não acontece, por exemplo devido a mordidas abertas, pode haver distorção acústica destas fricativas (Borden, et al., 2003).

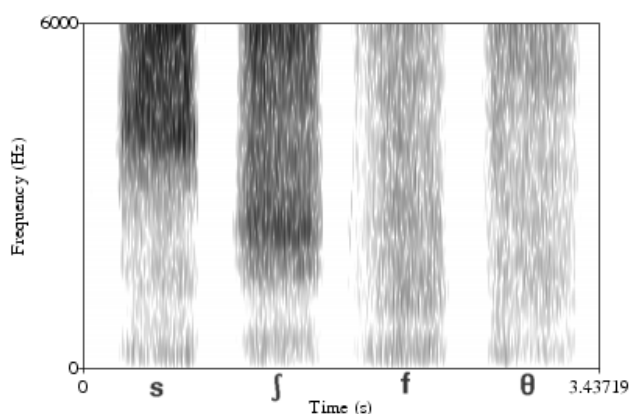
A produção desta postura articulatória implica: lábios ligeiramente separados (m. levantador do lábio e m. abaixador do lábio), oclusão dental (m. pterigoideu medial, m. temporal e m. masseter), extensão do ápex da língua (m. genioglosso), sulco estreito do dorso da língua (m. transverso da língua) e encerramento velofaríngeo (Palmer, 2003). Se for usado o ápex da língua, há actividade do músculo longitudinal superior, enquanto que se for usado o corpo a actividade é do longitudinal inferior (Borden, et al., 2003).

As fricativas pós-alveolares /ʃ, ʒ/ apresentam uma configuração em muitos aspectos próxima à das alveolares (ver Figura 4.1), sendo a constrição realizada numa região ligeiramente mais posterior e a depressão medial da língua menos profunda (Borden, et al., 2003; Mateus, et al., 2005). Na produção desta postura articulatória verifica-se: ligeiro abaixamento da mandíbula (m. digástrico, m. milo-hioideu, m. génio-hioideu e m. pterigoideu lateral), protrusão labial ligeira (m. orbicular dos lábios, m. do mento, m. levantador do lábio e m. abaixador do lábio), achatamento do dorso da língua (m. vertical da língua), abaixamento do ápex da língua (m. genioglosso, m. longitudinal inferior e m. hioglosso) e encerramento velofaríngeo (Palmer, 2003).



**Figura 4.1** Secções médio-sagittais em ressonância magnéticas da produção das consoantes [f] (à esquerda), [s] (ao centro) e [ʃ] (à direita). De Narayanan et al. (1995).

As características espectrográficas das fricativas (ver Figura 4.2) variam consoante o seu ponto de articulação. Atendendo às gamas de frequência em que se verifica uma maior concentração de energia sabe-se que para as alveolares [s, z] há uma concentração por volta dos 4000 Hz, enquanto que as pós-alveolares [ʃ, ʒ] a apresentam pelos 2000 Hz. As lábio-dentais não apresentam nenhuma região específica de maior concentração energética. As diferenças existentes entre alveolares e pós-alveolares são explicadas pelo facto de as últimas, ao serem produzidas numa região mais posterior, terem uma cavidade ligeiramente superior às primeiras, baixando a sua frequência de ressonância (Borden, et al., 2003).



**Figura 4.2** Espectrograma das fricativas não-vozeadas /f, s, ʃ, θ/. De Russell (2006).

Os espectros das fricativas são caracterizados por múltiplos picos e vales de difícil análise. No entanto têm sido considerados vários tipos de picos (“peaks”, “medium

bandwidth peaks” e “broad peaks”) e depressões (ver Figura 4.5) dependendo da sua localização e amplitude para a caracterização das fricativas (Jesus, 2001).

#### **4.1.1.2. Oclusivas**

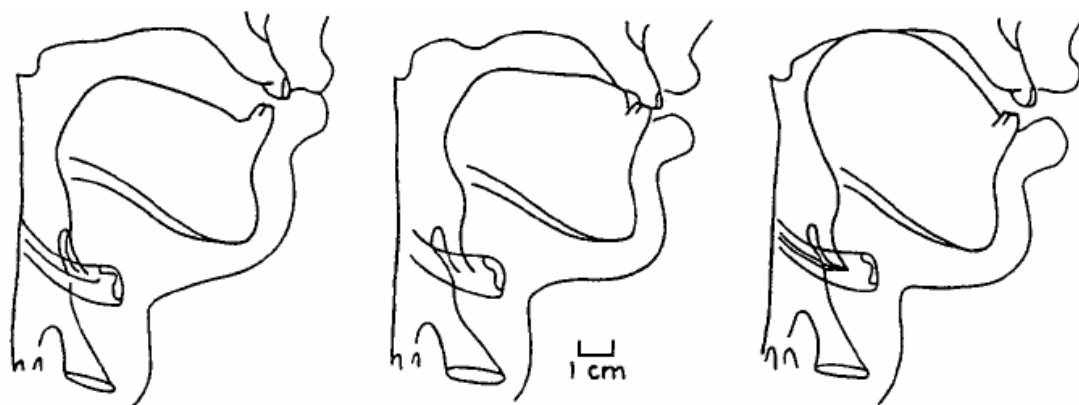
As oclusivas são sons caracterizados por uma obstrução à passagem do ar, que resulta numa interrupção momentânea da passagem desse ar, devido à total oclusão do tracto vocal. A oclusão pode ser produzida em várias regiões do tracto vocal, o que está na origem da classificação quanto ao ponto de articulação: bilabiais, alveolares e velares (no Português Europeu). A fonte de som pode ser exclusivamente produzida nestes pontos, no caso de oclusivas não vozeadas, ou simultaneamente com o sinal glótico, nas oclusivas vozeadas.

As oclusivas bilabiais [p, b] são, como o nome indica, produzidas pela junção dos dois lábios (Borden, et al., 2003; Mateus, et al., 2005), observando-se compressão forte do lábio (ver Figura 4.3) por acção do m. orbicular dos lábios (Palmer, 2003).

Na produção das oclusivas alveolares [t, d] há contacto do ápex da língua com os alvéolos (Borden, et al., 2003; Mateus, et al., 2005), pelo que se verifica elevação da ponta da língua e margens laterais (ver Figura 4.3) por acção dos m. longitudinal superior e m. estiloglosso (Palmer, 2003).

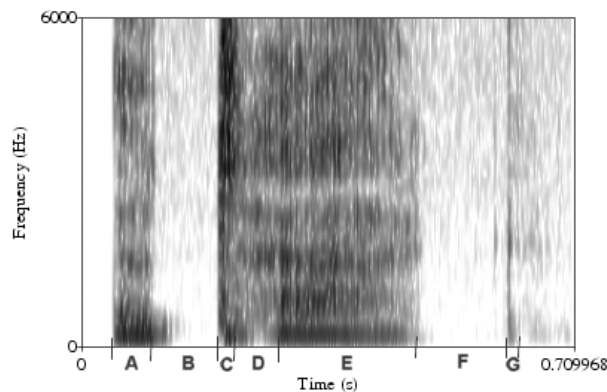
As oclusivas velares [k, g] produzem-se pelo contacto do dorso da língua com o palato duro e/ou mole (ver Figura 4.3), com elevação da língua média, de margem a margem, pela acção dos m. palatoglosso e m. estiloglosso (Borden, et al., 2003; Palmer, 2003).

Independentemente do ponto de articulação, todas as oclusivas são caracterizadas por: ligeiro abaixamento da mandíbula na fase de abertura (m. pterigoideu lateral, ventre anterior do m. digástrico, m. milo-hioideu e m. génio-hioideu) e encerramento velofaríngeo (Palmer, 2003), essencial para o aumento da pressão de ar no tracto vocal na fase de oclusão que caracteriza estes fones (Borden, et al., 2003).



**Figura 4.3** Secções médio-sagitais da produção das consoantes [p] (à esquerda), [t] (ao centro) e [k] (à direita). De Perkell (1969).

Do ponto de vista acústico existem várias fases na produção das oclusivas não-vozeadas, identificáveis no espectrograma ou forma de onda (ver Figura 4.4). A primeira característica é um período de silêncio, a fase de oclusão, representado por uma ausência de ruído no espectrograma. Esta deve-se a uma “suspensão” na articulação, durante a qual não há fluxo de ar no trato vocal. O segundo traço acústico é chamado de “burst” e acontece durante a “release” ou abertura da oclusiva sendo caracterizado no espectrograma por um curto período de ruído (10 a 35 ms). As frequências em que o “burst” é mais intenso têm relação com o ponto de articulação da oclusiva. Nas oclusivas bilabiais os espectros apresentam um pico por volta dos 600 Hz e nas alveolares este encontra-se pelos 3000 Hz. Nas velares o pico é mais variável, dependendo directamente da vogal que sucede à oclusiva. A variação da intensidade e da frequência das formantes antes e após a oclusiva são também factores importantes na sua caracterização. Na língua inglesa, é ainda comum encontrar uma fase de aspiração (Borden, et al., 2003).

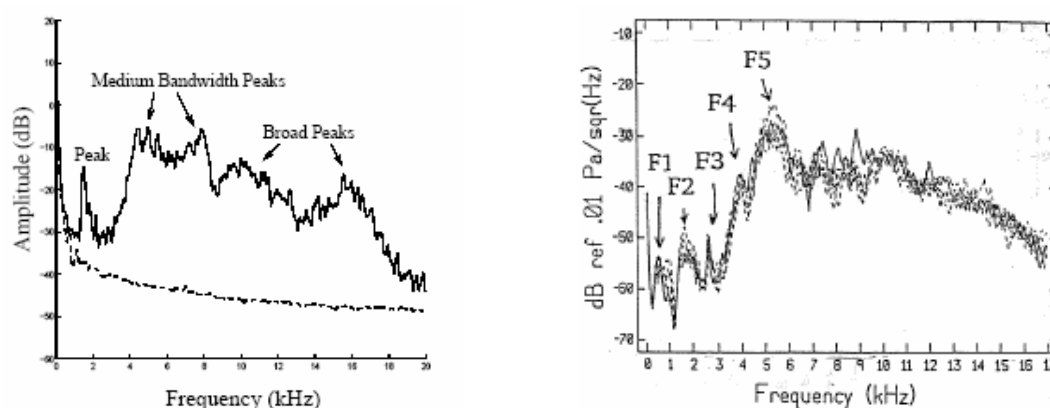


**Figura 4.4** Espectrograma da palavra inglesa “attack”: A. vogal inicial; B. fase de oclusão da oclusiva [t]; C. fase de “burst” da oclusiva [t]; D. fase de aspiração da oclusiva [t]; E. vogal intermédia; F. fase de oclusão da oclusiva [k]; G. fase de “burst” da oclusiva [k]. De Russell (2006).

#### 4.1.2. Estado da Arte

A análise acústica é frequentemente utilizada para caracterizar as consoantes. A análise espectral das fricativas tem vindo a ser progressivamente aperfeiçoada e utilizada no estudo em várias línguas do mundo, nomeadamente o Inglês Americano (Komshian e Soli, 1981; Soli, 1981; Behrens e Blumstein, 1988; Badin, 1991; Shadle, et al., 1991; Shadle, et al., 1992a; Shadle, et al., 1992b; Wilde, 1993; Narayanan, 1995; Jongman, et al., 2000), mas também mais recentemente o Português Europeu (Lacerda, 1982; Jesus, 2001; Jesus e Shadle, 2002).

Narayanan (1995), num estudo com dois homens e duas mulheres falantes de Inglês Americano, analisou espectros multitaper das fricativas e observou um “broad peak” por volta dos 10 kHz nas labiodentais, um “broad peak” aos 5 - 6.6 kHz e picos secundários aos 1.6 - 1.8 kHz, 2.5 - 2.9 kHz e 4.6 - 4.8 kHz nas alveolares e um “broad peak” aos 5 - 7 kHz e picos aos 1.5 - 1.8 kHz e 2 - 3.5 kHz nas pós-alveolares. Outros autores (Komshian e Soli, 1981; Soli, 1981) mostraram ainda que o contexto vocálico da fricativa afecta o seu espectro. A título de exemplo, apresenta-se a Figura 4.5, onde se destacam os vários tipos de picos encontrados numa fricativa.



**Figura 4.5** À esquerda: Espectro multitaper de [s] na palavra [pus]. De Jesus (2001). À direita: Sobreposição de 6 espectros multitaper da fricativa [s]. De Shadle e Scully (1995).

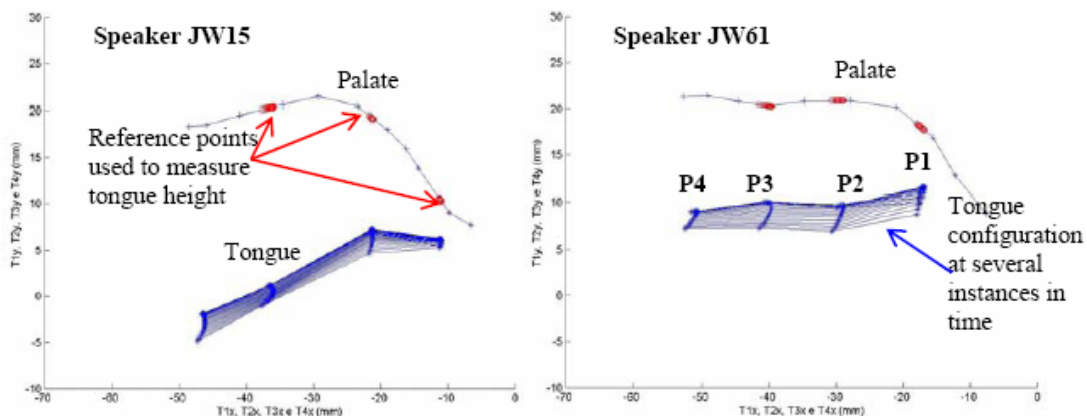
No estudo já abordado de Honda et al. (1996) verificaram-se diferenças alofônicas dos sons [s], [ʃ] e [t] relativas a tipologias faciais diferentes. Observou-se uma postura mais horizontal da língua e pontos de articulação mais anteriores em informantes prognatas em comparação com retrognatas. Não se comprovou relação directa entre a distância faríngea e a articulação diferenciada de [t], embora se tenham verificado diferenças quanto à inclinação da mandíbula: prognatas apresentam a língua numa postura mais baixa com elevação vertical do ápex para a articulação do [t] no típico ponto apico-alveolar, enquanto que os retrognatas apresentam a língua mais elevada desde a sua base e um ponto de articulação lamino-alveolar com movimento mais horizontal.

McFarland et al. (1996) verificou que ao contrário das vogais e das restantes consoantes analisadas [p, t, k, ʃ], a fricativa [s] foi influenciada pela colocação de um palato artificial, tendo as frequências centróides passado de 7655 kHz, sem palato, para 7065 kHz.

Baum e McFarland (1997) recorreram à avaliação acústica e a um estudo de percepção para examinar a capacidade dos falantes para compensar a produção de [s], aquando da inserção de um palato artificial com espessura aumentada na região alveolar. Verificaram-se alterações acústicas significativas ao nível das frequências centróides de sinais acústicos adquiridos ao longo de uma hora de treino, com aproximação progressiva à produção sem placa. Após retirar a placa verificou-se uma diferença significativa relativa à produção compreendida entre os momentos pré e pós treino, com redução da qualidade na última. Os resultados referentes ao estudo de percepção foram concordantes com os da avaliação acústica.



Araújo et al. (2005) procuraram relacionar a produção de fricativas surdas com o tipo de oclusão dentária em cinco informantes do género masculino provenientes da XRMB-SPD, quatro com classe dentária tipo I e um com classe tipo II. O corpus foi composto por produções do tipo VCV. Os dados articulatórios foram sujeitos a avaliação qualitativa e quantitativa, tendo-se observado que o indivíduo de classe II apresentava o lábio inferior retraído em relação ao superior, a parede posterior da faringe mais inclinada e uma postura lingual mais horizontal, quando comparado com o grupo de controlo. Não se verificaram diferenças relevantes na postura da língua na produção do [f]. O indivíduo com classe II apresentou uma posteriorização nos pontos de maior constrição dos sons [s] e [ʃ], sendo a diferença de 3 e 5 mm em relação à média dos falantes de classe I estudados. Em relação à distância da língua ao palato as maiores diferenças prenderam-se com uma elevação mais acentuada da base da língua no indivíduo com classe II em relação aos restantes (ver Figura 4.6). O estudo mostrou diferenças estruturais e posturais acentuadas, indicando a necessidade de adaptação articulatória por parte do indivíduo de classe II.



**Figura 4.6** Resultados da fricativa [s] produzida por um informante de classe I (à esquerda) e classe II (à direita). De Araújo et al. (2005).

## 4.2. MÉTODO

### 4.2.1. Selecção do Corpus

Dado que todos os informantes da base de dados em estudo são falantes de Inglês Americano e que pretendemos analisar fenómenos acústicos e articulatórios próximos do Português Europeu, optou-se por limitar para este estudo o número de sons consonânticos. Assim, foram seleccionadas para o estudo apenas duas classes de sons consonânticos: as fricativas [f], [s], [ʃ] e as oclusivas [p], [t] e [k]. De entre as fricativas e oclusivas existentes em ambas as línguas, optou-se por estudar apenas as não-vozeadas, de forma a simplificar o processo de análise acústica, já que a nível articulatório a semelhança é significativa.

Com vista a minimizar a variabilidade inerente à natureza da XRMB-SPD, seleccionou-se para prova principal de análise articulatória uma tarefa constituída exclusivamente por não-palavras, a TP016. Nesta prova de “Citação de VCV”, como se pode verificar na Figura 4.7, é solicitado ao informante que produza cada uma das consoantes da língua inglesa entre duas vogais, [ʌ] inicial e [a] final. Neste corpus as várias consoantes são produzidas em contexto intervocálico acentuado, sendo [ʌ] a vogal anterior (não acentuada) e [a] a vogal posterior (acentuada).

Task #16:    **vcv's#015**    27000 msec.

**CITATION VCV's:**  
Read each item once, slowly and clearly, with a brief pause between items.  
(Read in column order.)

1. [ʌfa]	8. [ʌza]	15. [ʌwa]
2. [ʌka]	9. [ʌha]	16. [ʌga]
3. [ʌja]	10. [ʌtʃa]	17. [ʌna]
4. [ʌma]	11. [ʌʃa]	18. [ʌpa]
5. [ʌza]	12. [ʌba]	19. [ʌda]
6. [ʌta]	13. [ʌja]	20. [ʌʒa]
7. [ʌva]	14. [ʌla]	21. [ʌsa]

**Figura 4.7** Descrição da Prova TP016. Adaptado de Westbury (1994).

De forma a complementar a análise acústica destas consoantes com informações dinâmicas mais reais, presentes durante a fala, efectuou-se um levantamento das consoantes definidas existentes nas provas de leitura de sequências de palavras. A lista é apresentada na Tabela 4.3, onde se pode observar a incidência de cada consoante nas palavras da XRMB-SPD, a repetição das mesmas e o número das provas em que se encontram.

[f]	Provas
<b>before</b>	<b>32</b>
<b>beautiful</b>	<b>33</b>
<b>information</b>	<b>54</b>

[s]	Provas
<b>yourself</b>	<b>27</b>
<b>himself</b>	<b>83,90,95,100</b>
<b>conversation</b>	<b>89</b>

[ʃ]	Provas
<b>special</b>	<b>2,4,35,70</b>
<b>Information</b>	<b>54</b>
<b>Conversation</b>	<b>89</b>

[p]	Provas
<b>people</b>	<b>5,32,35,62</b>

[t]	Provas
<b>dormitory</b>	<b>1,18,46,83,87</b>
<b>between</b>	<b>28</b>
beautiful	33

[k]	Provas
making	25
<b>second</b>	<b>27,33,46,66,87</b>
<b>become</b>	<b>44</b>
<b>becouse</b>	<b>73</b>

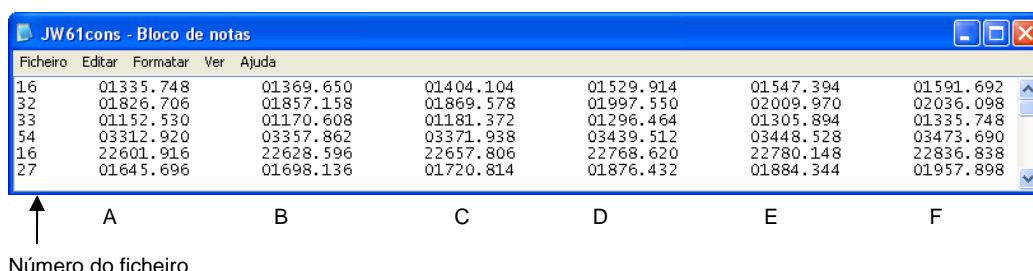
**Tabela 4.3** Palavras que contêm as consoantes seleccionadas e respectivas provas onde se encontram.

Seleccionaram-se três palavras para o estudo de cada consoante, devidamente destacadas a negrito na Tabela 4.3. A consoante [p] foi excepção, dado que só aparecia numa palavra, pelo que se analisaram três repetições da mesma. Quanto à consoante [t], apesar da existência de três palavras transcritas a indicar este som no manual da XRMB-SPD (Westbury, 1994), verificou-se que na palavra “beautiful” devido a processos coarticulatórios era produzido um [ɹ], o que justificou a sua exclusão e substituição por uma repetição da palavra “dormitory”.

Verifica-se uma grande heterogeneidade na quantidade e incidência das produções, bem como no contexto coarticulatório das várias consoantes em cada palavra, o que obrigou necessariamente a limitações nos parâmetros extraídos, bem como posteriormente a cuidados especiais na interpretação dos resultados.

## 4.2.2. Procedimentos de análise acústica

As fricativas seleccionadas foram identificadas nas várias provas (TP016 e restantes) através da audição e análise espectrográfica. O software usado para este efeito foi o *TF32* e procedeu-se à anotação das várias fases consideradas importantes para a análise acústica. Esta foi efectuada, não directamente no programa *TF32*, mas através da exportação das anotações para um ficheiro de texto, de forma a ser posteriormente lido pelo *Matlab*. Um exemplo deste ficheiro é representado na Figura 4.8.



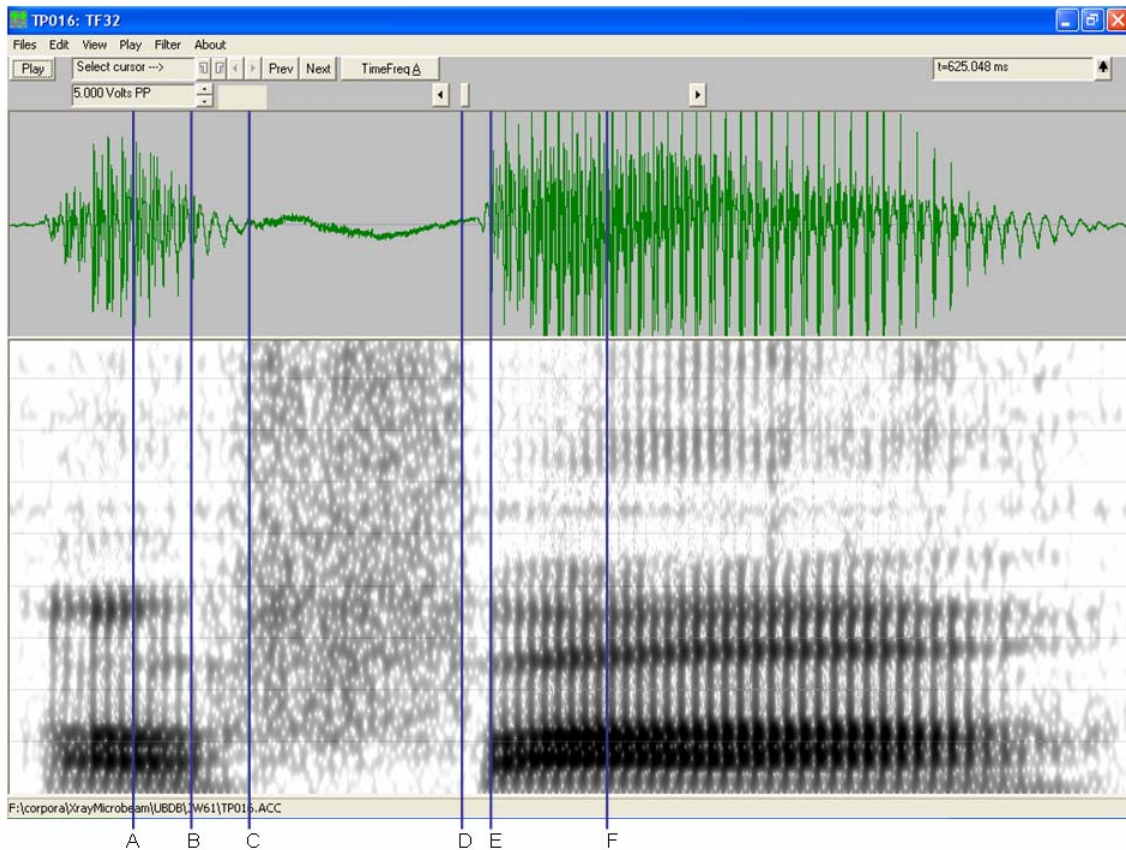
	A	B	C	D	E	F
16	01335.748	01369.650	01404.104	01529.914	01547.394	01591.692
32	01826.706	01857.158	01869.578	01997.550	02009.970	02036.098
33	01152.530	01170.608	01181.372	01296.464	01305.894	01335.748
54	03312.920	03357.862	03371.938	03439.512	03448.528	03473.690
16	22601.916	22628.596	22657.806	22768.620	22780.148	22836.838
27	01645.696	01698.136	01720.814	01876.432	01884.344	01957.898

↑  
Número do ficheiro

**Figura 4.8** Ficheiro de texto contendo a anotação em ms relativas às várias produções de consoantes pelo falante jw61.

De seguida enumeram-se as várias fases anotadas das fricativas, representadas na Figura 4.9, bem como os critérios utilizados:

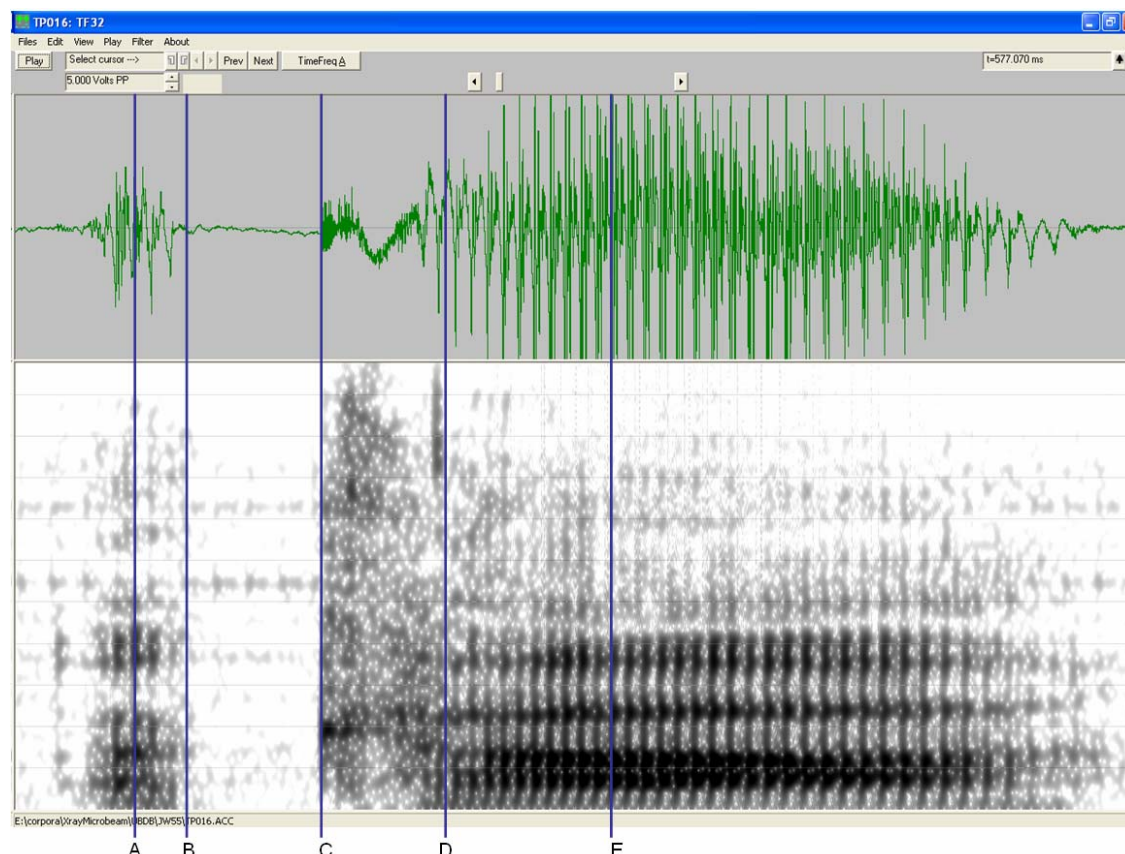
- vogal anterior (A) – região estável da vogal anterior;
- início da transição para a fricativa (B) – região da vogal anterior em que se inicia a queda da frequência das formantes e em que se iniciam traços de turbulência na região das frequências mais altas;
- início da fricativa (C) – início da fricativa propriamente dita, onde deixa de haver traço de vozeamento da vogal anterior;
- fim da fricativa (D) – fim da região da fricativa caracterizada por ruído nas altas frequências;
- início da vogal posterior (E) – fim da região de transição, com início das várias formantes;
- vogal posterior (F) – região estável da vogal posterior.



**Figura 4.9** Pormenor da anotação efectuada no software *TF32* para a prova TP016 do indivíduo jw61, na produção [ʌfa]. A frequência máxima no espectrograma é de 4.5 kHz.

O método usado na identificação e análise das oclusivas foi semelhante ao das fricativas. O ficheiro para onde se exportaram os dados da anotação foi comum ao anterior, representado na Figura 4.8. A técnica de anotação e análise espectrográfica cumpriu os seguintes critérios, representados na Figura 4.10:

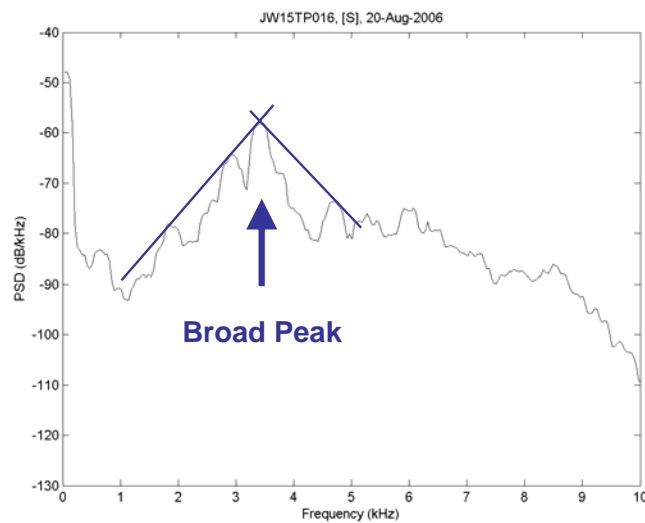
- vogal anterior (A) – região estável da vogal anterior;
- início da oclusiva (B) – região em que deixa de se verificar o traço de vozeamento da vogal anterior e se inicia a oclusão;
- fim da oclusiva (C);
- início da release (D);
- início da vogal posterior (E) – fim da região de transição, com início das várias formantes;
- vogal posterior (F) – região estável da vogal posterior.



**Figura 4.10** Pormenor da anotação efectuada no software *TF32* para a prova TP016 do indivíduo jw55, na produção [ʌta]. A frequência máxima no espectrograma é de 4.5 kHz.

A anotação efectuada permitiu em primeiro lugar realizar uma análise temporal. Para tal, exportaram-se os dados para o programa *Excel*, onde se procedeu ao cálculo da duração de cada som etiquetado, e à obtenção da mediana das produções de cada som para cada informante. Considerou-se a duração do som excluindo as fases de transição das vogais anterior e posterior quer nas fricativas, quer nas oclusivas. Para as oclusivas analisou-se ainda separadamente a duração das fases de oclusão e de “release”. Assim, foi possível comparar quanto à duração os vários sons entre si, as variações existentes entre os informantes, e as relações com a *oclusão dentária* e o *género*.

Procedeu-se também à análise espectral. Foram utilizados espectros multitaper calculados com uma janela de 11 ms no ao centro nas fricativas, e alinhada à esquerda no início da “release” das oclusivas. Observou-se o espectro de cada fone, caracterizado por picos representativos nas gamas de frequência com maior energia. Tal como se observa na Figura 4.11 a análise automática dos picos é difícil, pelo que se procedeu à sua identificação manual.



**Figura 4.11** Espectro multitaper do fonema [ʃ] de jw15 na palavra “special” e exemplo da respectiva medição manual do “broad peak”.

A análise dos espectros foi efectuada tendo em consideração alguns critérios de base, seleccionados para facilitar a observação. Para tal observou-se o conjunto dos “outputs” de cada som de forma a identificar os picos mais representativos de cada um. Assim, extraíram-se os valores de um pico para [ʃ], dois para [f], [t] e [k], e três para [s] e [p]. A análise foi efectuada manualmente, tendo-se traçado rectas tangentes aos picos próximos de cada pico principal, de forma a determinar com maior exactidão o local de medição da frequência, principalmente em picos múltiplos ou “esbatidos”. Os valores da frequência de cada pico seleccionado foram então extraídos. As frequências dos picos foram exportadas e compiladas de forma a permitir a comparação com dados bibliográficos, entre informantes e com os dados da análise articulatória.

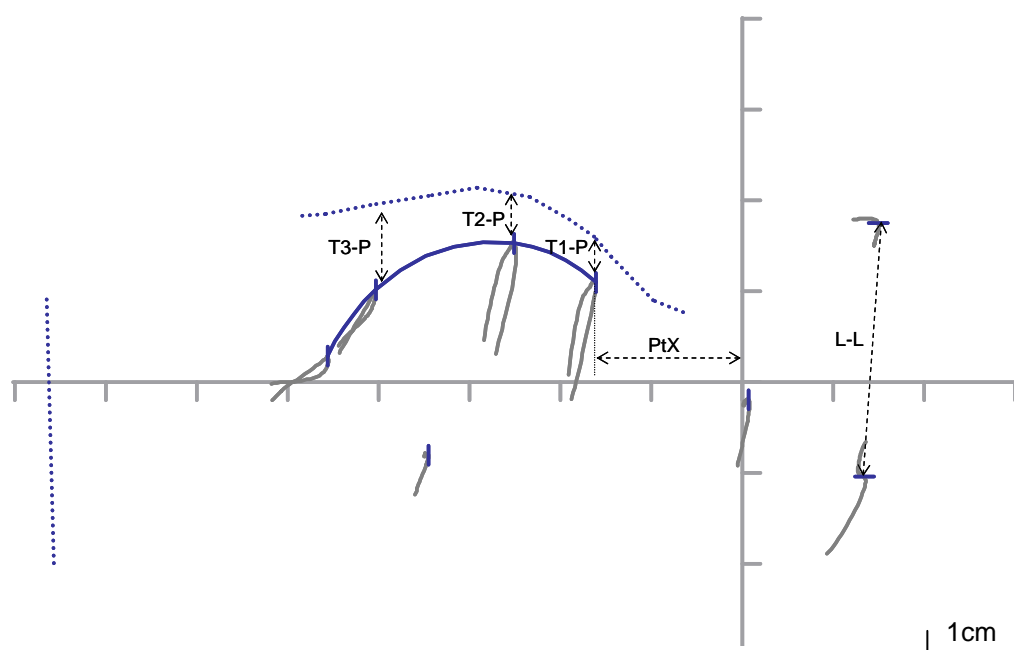
#### 4.2.3. Procedimentos de análise articulatória

A análise articulatória das consoantes incidiu sobre a prova TP016. A metodologia utilizada pretendeu caracterizar o padrão articulatório dos sons seleccionados, [f, s, ʃ, p, t, k], e compará-lo entre os quatro informantes quanto aos seguintes aspectos:

- ponto de articulação;
- trajectória de movimento dos vários articuladores móveis;
- postura articulatória dos vários articuladores.

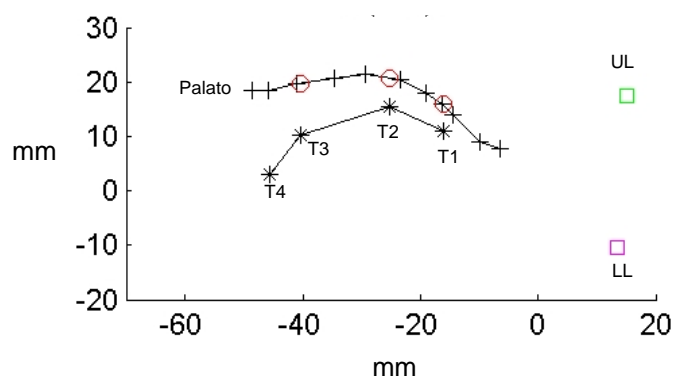
Durante a anotação, procedeu-se à exportação de imagens dos gráficos XY (ver Figura 4.12) do TF32, através do comando *Copy image*, tal como anteriormente para as vogais. As imagens foram obtidas no ponto médio de produção, para as fricativas, e no ponto médio da fase de oclusão, para as oclusivas. Usou-se adicionalmente a função *Trace*, de forma a permitir visualizar não apenas o ponto médio de articulação, mas também uma linha representativa da trajectória do movimento de cada eléctrodo, desde a vogal anterior até à vogal posterior. A sobreposição das imagens dos vários informantes permitiu uma comparação descritiva das mesmas.

No momento da exportação das imagens procedeu-se igualmente à exportação das coordenadas dos eléctrodos no ponto médio seleccionado, através do comando *Copy coord*, de forma a permitir traçar medidas mais objectivas. As coordenadas foram organizadas em ficheiros de texto e posteriormente analisadas em *Matlab* (ver Figura 4.13), onde se criaram gráficos e obtiveram as seguintes medidas (ver Figura 4.12): distância do eléctrodo T1 ao palato (T1-P), distância do eléctrodo T2 ao palato (T2-P), distância do eléctrodo T3 ao palato (T3-P), distância do ponto de aproximação máxima (entre a língua e o palato) aos dentes (PtX) e distância entre os lábios superior e inferior (L-L).



**Figura 4.12** Gráfico XY extraído do TF32 relativo à produção de [j] do informante jw15 na tarefa TP016 com ilustração das medidas extraídas em Matlab.





**Figura 4.13** Gráfico gerado com o *Matlab* relativo à produção de [j] do informante jw15 na tarefa TP016.

## 4.3. RESULTADOS

### 4.3.1. Análise acústica de consoantes

#### 4.3.1.1. Análise temporal

A duração das produções das consoantes foi extraída, sem considerar as fases de transição, e as suas medianas encontram-se apresentadas na Tabela 4.4. Para as oclusivas apresenta-se separadamente a mediana da duração total e as medianas da duração das fases de oclusão e de “release”.

	Duração (ms)				Duração da oclusão (ms)				Duração da “release” (ms)			
	jw15	jw61	jw54	jw13	jw15	jw61	jw54	jw13	jw15	jw61	jw54	Jw13
[f]	122	120	112	114								
[s]	147	113	138	157								
[ʃ]	127	121	113	117								
[p]	107	104	99	116	86	81	75	99	24	27	22	19
[t]	159	132	145	163	52	63	61	48	104	69	92	106
[k]	148	125	163	157	75	61	66	68	86	54	95	102

**Tabela 4.4** Medianas das durações das produções de cada som seleccionado para os informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

Podem observar-se valores das durações totais que variam na ordem de: 112 a 122 ms para [f], 113 a 157 ms para [s], 113 a 127 ms para [ʃ], 99 a 116 ms para [p], 132 a 163 ms para [t] e 125 a 157 ms para [k]. Verifica-se que o informante com uma média de produções com menor duração é jw61 (MCI2) e o de maior duração é jw13 (FCI2).

Considerando as medianas das durações das fricativas de cada informante observa-se que apesar da variação existente, por norma a mais curta é [f], seguida de [ʃ] e de [s], a mais longa, com excepção de jw61. Quanto às oclusivas pode verificar-se que a distribuição da duração total pelas duas fases consideradas, oclusão e “release”, varia entre os três sons. Em [p] há tendência a uma maior duração da fase de oclusão, ao contrário do que acontece em [t], em que a fase de “release” é em média maior. No som [k] a maioria dos informantes apresentam a mesma relação que em [t], embora não tão acentuada, com excepção de jw61 com resultados inversos.

Comparando jw15 (MC11) e jw61 (MC12) a duração é sempre superior no primeiro, destacando-se [s] com 35 ms de diferença, [t] com 27 ms e [k] com 23 ms. Realizando a mesma comparação entre jw54 (FC11) e jw13 (FC12), verificam-se diferenças menores, que na maioria dos sons traduz uma duração maior em jw13. Destacam-se os sons: [s] e [t] com 19 ms de diferença, e [p] com 17 ms.

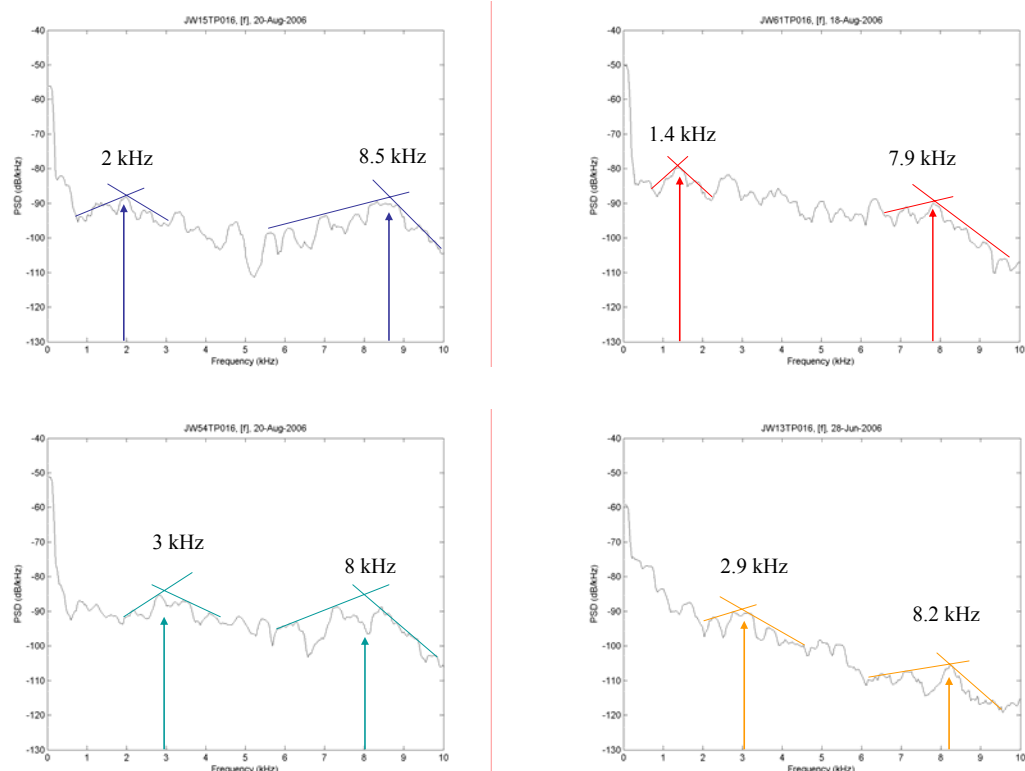
Se considerarmos a variável *classe dentária* (MC11+FC11 vs MC12+FC12) verificamos que não há diferenças consideráveis, com exceção do som [k] que é produzido de forma mais prolongada na classe 1, com 14 ms de diferença.

Relativamente ao *género* (MC11+MC12 vs FC11+FC12) não se encontra uma norma, uma vez que há sons mais prolongados no grupo masculino (jw15 e jw61), [f] e [ʃ], sendo os restantes mais prolongados no grupo feminino (jw54 e jw13). Os sons com maiores diferenças são [k], com 23 ms, e [s] com 18 ms, ambos mais longos no grupo feminino.

#### 4.3.1.2. Análise espectral de [f]

A observação dos espectros do fone [f] revela na generalidade um aspecto pouco diferenciado, sem picos ou depressões muito evidentes. Foram seleccionados os dois picos principais, cujos valores variaram entre 1.4 e 3.9 kHz para o primeiro pico e 6.9 e 8.6 kHz para o segundo. As medianas de cada pico foram: 2 e 8.2 kHz para jw15; 1.4 e 7.2 kHz para jw61; 1.7 e 8.2 kHz para jw54; e 2.9 e 8 kHz para jw13. A Figura 4.14 apresenta exemplos de espectros dos quatro informantes na prova TP016. Os valores determinados não parecem corresponder ao descrito por Narayanan (1995), que refere apenas um “broad peak” por volta dos 10 kHz.

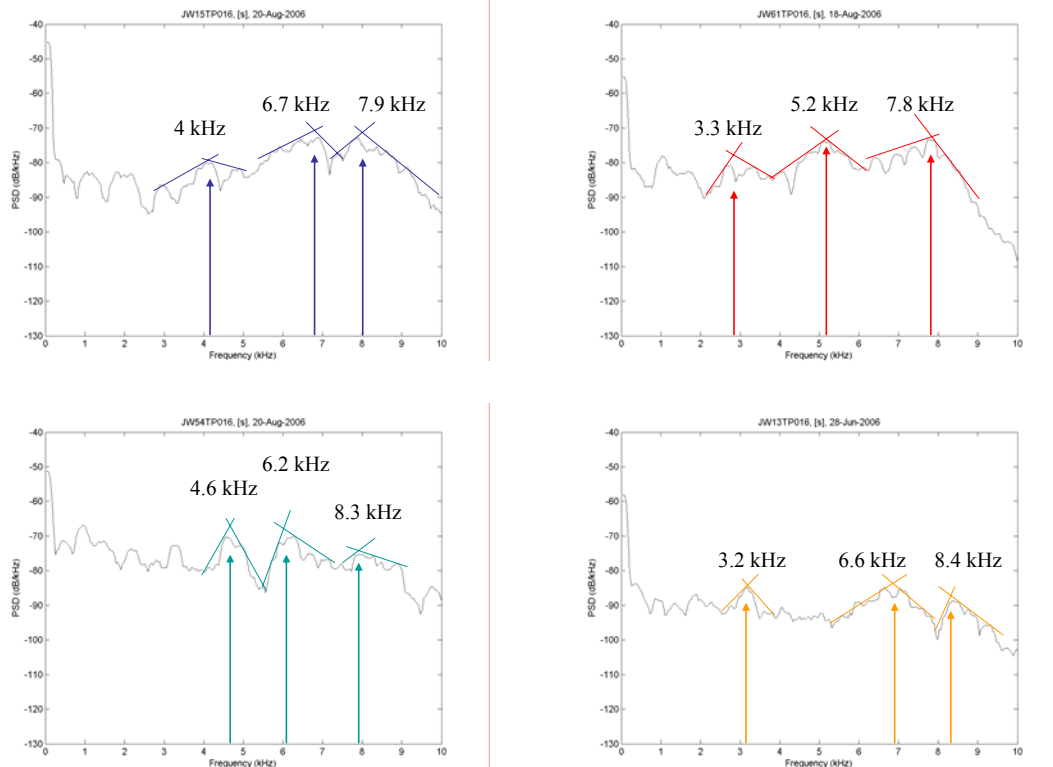
A análise comparativa da configuração dos espectros não mostra diferenças relevantes. Relativamente aos valores dos picos é difícil estabelecer correlações com o *género* ou a *oclusão dentária*. Note-se que este som é labiodental, pelo que tem uma reduzida cavidade de ressonância para filtrar o som, considerando-se assim normal a existência de picos pouco acentuados e difíceis de identificar.



**Figura 4.14** Espectros multitaper do fone [f] na prova TP016 de jw15 (em cima à esquerda), jw61 (em cima à direita), jw54 (em baixo à esquerda) e jw13 (em baixo à direita).

#### 4.3.1.3. Análise espectral de [s]

No fone [s] a variação verificada nos espectros é superior à do fone [f], tendo-se identificado os três picos mais evidentes. Os valores destes variaram entre 2.5 e 4.6 kHz para o primeiro pico, 4.5 e 6.8 kHz para o segundo e 7.2 e 8.6 para o terceiro. As medianas de cada pico foram respectivamente: 4, 6.7 e 7.9 kHz para jw15; 2.9, 4.8 e 7.8 kHz para jw61; 4.2, 5.4 e 8.3 kHz para jw54; e 3.1, 6.3 e 8.4 kHz para jw13. São apresentados exemplos dos espectros dos quatro informantes na prova TP016 na Figura 4.15. Os valores obtidos, embora não sejam tão diferenciados, mostram-se próximos aos de Narayanan (1995) que descreve um “broad peak” entre 5 e 6.6 kHz e picos secundários entre 1.6 e 1.8 kHz, 2.5 e 2.9 kHz e 4.6 e 4.8 kHz.



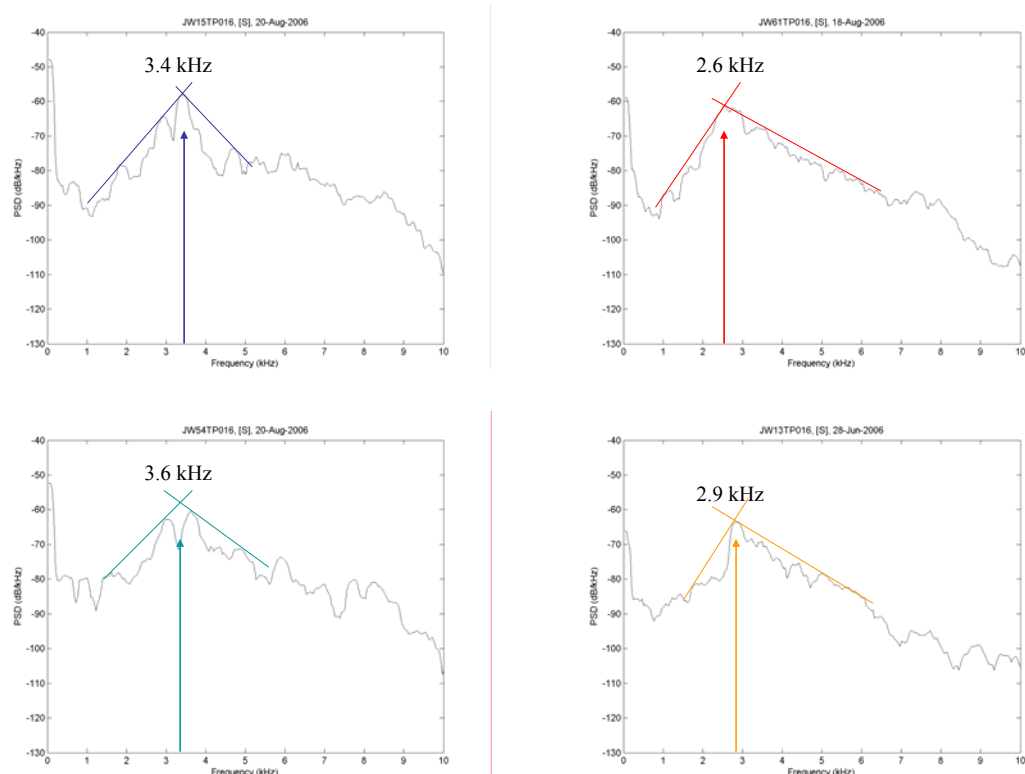
**Figura 4.15** Espectros multitaper do fone [s] na prova TP016 de jw15 (em cima à esquerda), jw61 (em cima à direita), jw54 (em baixo à esquerda) e jw13 (em baixo à direita).

Verifica-se, através da análise de todos os espectros, que jw13 (FC12) apresenta menor energia na produção de [s] quando comparado com os restantes informantes. As medianas do primeiro pico parecem mostrar correlação com a *oclusão dentária*, uma vez que são superiores na classe I (4 e 4.2 kHz) e inferiores na classe II (2.9 e 3.1 kHz). O terceiro pico parece mostrar correlação com o *gênero*, dado que as suas medianas são superiores nas mulheres (8.3 e 8.4 kHz) e inferiores nos homens (7.8 e 7.9 kHz).

O segundo pico parece estar relacionado com a localização do ponto de articulação de cada informante e será comentado posteriormente, aquando da análise articulatória das consoantes.

#### 4.3.1.4. Análise espectral de [ʃ]

Para o fone [ʃ] obteve-se apenas o valor de um pico, uma vez que este surge em todos os espectros e parece ser representativo do fone. Os valores variaram entre 2.3 e 3.8 kHz e as medianas foram: 3.1 kHz para jw15; 2.5 kHz para jw61; e 3 kHz para jw54 e jw13. A Figura 4.16 apresenta espectros dos quatro informantes na prova TP016.



**Figura 4.16** Espectros multitaper do fone [j] na prova TP016 de jw15 (em cima à esquerda), jw61 (em cima à direita), jw54 (em baixo à esquerda) e jw13 (em baixo à direita).

A observação dos espectros do [j] não mostra diferenças muito relevantes entre os informantes. Ao analisar as medianas do pico seleccionado verifica-se, tal como descrito na bibliografia (Jesus, 2001; Borden, et al., 2003), que os valores característicos deste fone são inferiores aos do [s], o que se explica pela existência de uma cavidade de ressonância anterior de maiores dimensões. Narayanan (1995) descreve um “broad peak” aos 5 a 7 kHz e picos aos 1.5 a 1.8 kHz e 2 a 3.5 kHz nesta fricativa, o que não parece corresponder aos resultados encontrados.

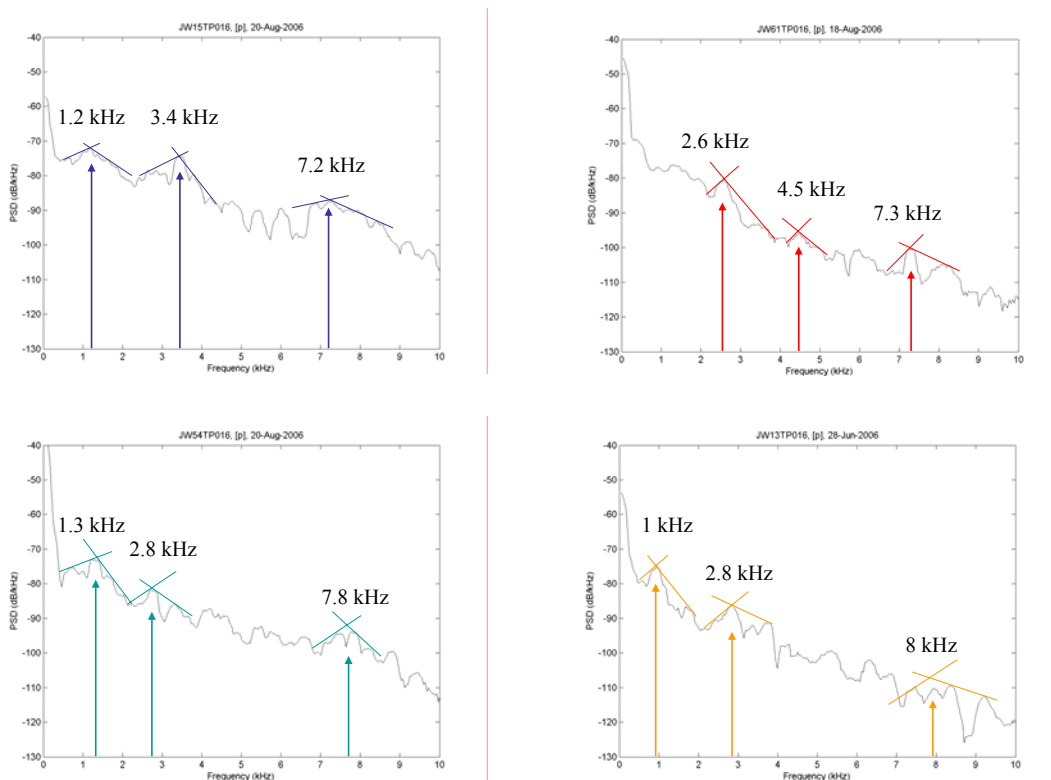
As diferenças entre informantes não são evidentes considerando as medianas, embora ao analisar apenas a tarefa TP016 os resultados pareçam apontar para diferenças relacionadas com a *oclusão dentária*, dado que será comentado posteriormente.

#### 4.3.1.5. Análise espectral de [p]

A observação dos espectros do fone [p] revelam na generalidade um aspecto pouco diferenciado, sem picos ou depressões muito evidentes. Foi, no entanto, possível

seleccionar os três picos principais que parecem existir de forma consistente nas várias produções. Os valores destes picos variaram entre 0.5 e 2.6 kHz para o primeiro pico, 2.8 e 4.9 kHz para o segundo e 7.1 e 8 kHz para o terceiro. As medianas de cada pico foram: 1.1, 3.4 e 7.3 kHz para jw15; 1.2, 4.2 e 7.4 kHz para jw61; 1.2, 3 e 7.8 kHz para jw54; e 1, 2.8 e 7.2 kHz para jw13. Dos valores encontrados, destacam-se os do primeiro pico, dado que se encontram próximos embora superiores aos descritos na bibliografia, que apontam para valores próximos ou inferiores a 0.6 kHz (Borden, et al., 2003). A Figura 4.17 apresenta espectros dos quatro informantes na prova TP016. Os valores obtidos são bastante próximos em todos os informantes, e não parecem revelar relações ou diferenças pertinentes entre eles.

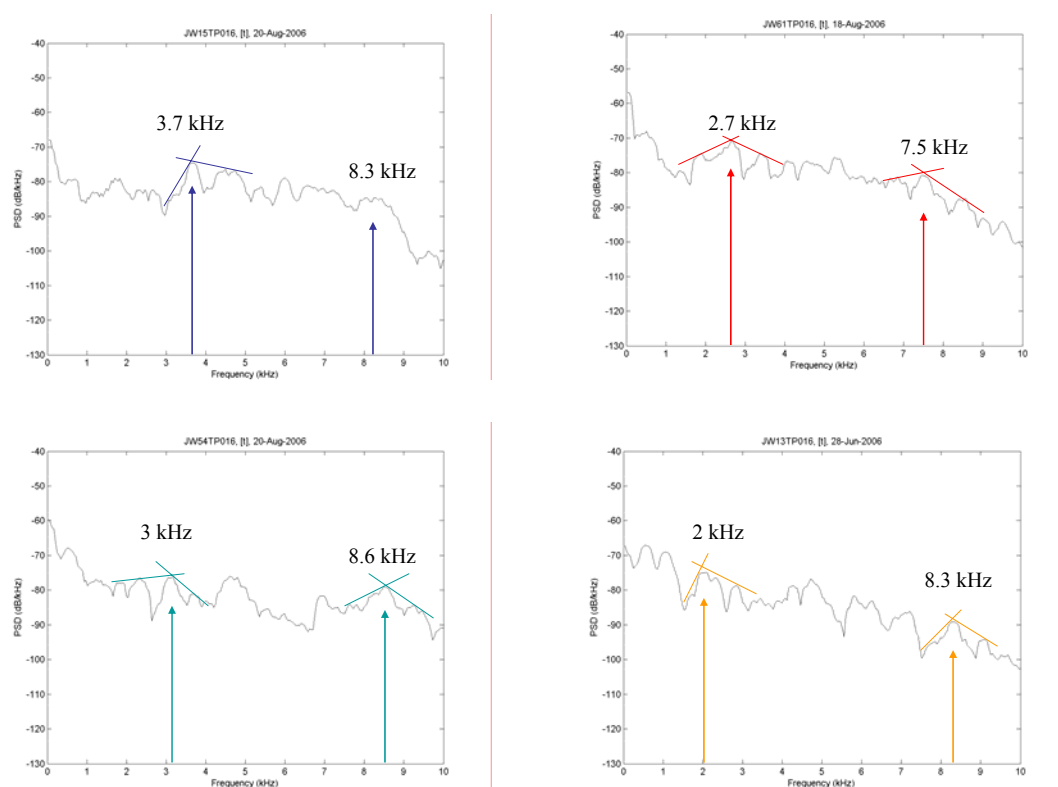
Pela análise de todos os espectros observa-se um 1º pico, que apesar de bastante estável não parece ser um bom indicador das variáveis em estudo, um 2º pico muito variável e um 3º pico também estável.



**Figura 4.17** Espectros multitaper do fone [p] na prova TP016 de jw15 (em cima à esquerda), jw61 (em cima à direita), jw54 (em baixo à esquerda) e jw13 (em baixo à direita).

#### 4.3.1.6. Análise espectral de [t]

Para o fone [t] obtiveram-se os valores de dois picos que variaram entre 2 e 3.9 kHz e 7 e 8.6 kHz. As medianas por informante foram: 3.5 e 8.3 kHz para jw15; 2.6 e 7.4 kHz para jw61; e 2.8 e 8.3 kHz para jw54 e 3.5 e 8.3 kHz para jw13. A Figura 4.18 apresenta os espectros dos quatro informantes na prova TP016. Os valores do primeiro pico aproximam-se aos descritos na bibliografia, 0.3 kHz (Borden, et al., 2003). Na generalidade dos espectros o 2º pico é bastante estável, com excepção de jw61, e o 1º pico é variável, com uma frequência superior em jw15 e jw13 e menor em jw61 e jw54, pelo que não evidencia relação com *género* ou *oclusão dentária*.



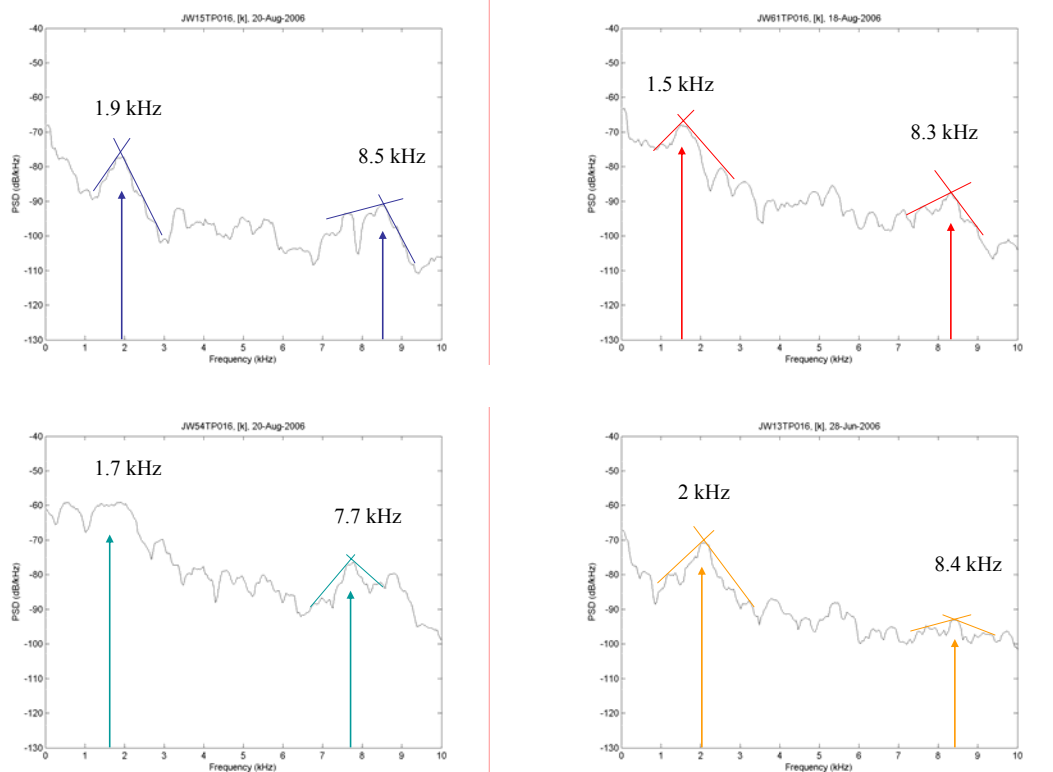
**Figura 4.18** Espectros multitaper do fone [t] na prova TP016 de jw15 (em cima à esquerda), jw61 (em cima à direita), jw54 (em baixo à esquerda) e jw13 (em baixo à direita).

#### 4.3.1.6. Análise espectral de [k]

No fone [k] a variação verificada nos espectros é por norma superior à das oclusivas [p, t], tendo-se identificado os dois picos mais relevantes. Os valores destes variaram entre 1.5 e 2.8 kHz para o primeiro pico e 7 e 8.5 kHz para o segundo. As medianas de cada pico foram respectivamente: 2 e 8.3 kHz para jw15; 2.2 e 7.4 kHz para jw61; 2.2 e 7.8 kHz para



jw54; e 2 e 8.1 kHz para jw13. Os espectros dos quatro informantes na prova TP016 são apresentados na Figura 4.19. A análise conjunta de todos os espectros evidencia um 1º pico bastante estável entre os vários informantes e ausência de relação aparente com as variáveis em estudo.



**Figura 4.19** Espectros multitaper do fone [k] na prova TP016 de jw15 (em cima à esquerda), jw61 (em cima à direita), jw54 (em baixo à esquerda) e jw13 (em baixo à direita).

#### 4.3.2. Análise articulatória de consoantes

A análise articulatória constou da observação comparativa de imagens sobrepostas da produção de cada fone por parte dos quatro informantes. Esta análise foi complementada com a extracção de algumas medidas que são apresentadas na Tabela 4.5. Estas medidas serão comentadas aquando da análise e apresentação dos resultados de cada fone, servindo de complemento à observação efectuada.

[f]	T1-P (mm)	T2-P (mm)	T3-P (mm)	PtX (mm)	L-L (mm)
jw15	21	24	17	43	19
jw61	22	17	13	45	19
jw54	24	22	12	42	12
jw13	16	12	11	44	16

[p]	T1-P (mm)	T2-P (mm)	T3-P (mm)	PtX (mm)	L-L (mm)
jw15	29	26	20	45	17
jw61	25	21	16	47	18
jw54	20	21	12	41	15
jw13	23	20	16	42	15

[s]	T1-P (mm)	T2-P (mm)	T3-P (mm)	PtX (mm)	L-L (mm)
jw15	4	12	20	11	25
jw61	7	12	12	17	21
jw54	6	16	16	15	19
jw13	4	14	11	11	21

[t]	T1-P (mm)	T2-P (mm)	T3-P (mm)	PtX (mm)	L-L (mm)
jw15	7	12	17	17	25
jw61	6	8	8	17	22
jw54	3	13	13	13	19
jw13	5	9	10	12	21

[ʃ]	T1-P (mm)	T2-P (mm)	T3-P (mm)	PtX (mm)	L-L (mm)
jw15	5	5	9	16	28
jw61	5	4	4	41	26
jw54	5	8	7	18	23
jw13	4	2	6	29	29

[k]	T1-P (mm)	T2-P (mm)	T3-P (mm)	PtX (mm)	L-L (mm)
jw15	16	14	1	38	26
jw61	10	4	1	42	23
jw54	10	6	1	32	21
jw13	9	8	2	37	25

**Tabela 4.5** Medidas calculadas relativas à postura articulatória dos sons [f, s, ʃ, p, t, k] produzidos pelos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13: T1-P, distância do eléctrodo T1 ao palato; T2-P, distância do eléctrodo T2 ao palato; T3-P, distância do eléctrodo T3 ao palato; PtX, distância do ponto de aproximação máxima (entre a língua e o palato) aos dentes; L-L, distância entre os lábios superior e inferior.

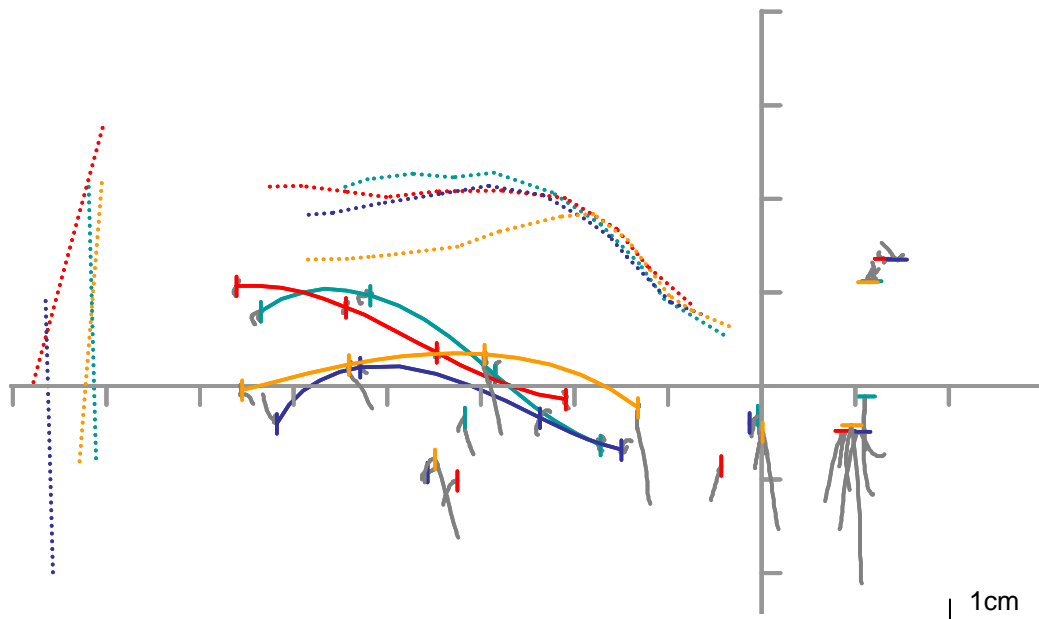
#### 4.3.2.1. Análise articulatória de [f]

A Figura 4.20 representa a produção do fone [f] pelos quatro informantes. Sendo este uma fricativa lábio-dental observa-se um deslocamento posterior do lábio inferior, na direcção dos incisivos superiores, não havendo grande interferência da língua na articulação.

Efectivamente, o lábio inferior encontra-se neste som na posição mais alta e posterior, quando comparado com os fones [s] e [ʃ] (Figuras 4.22 e 4.24) o que é indicativo de aproximação aos incisivos superiores. Apesar de não haver um contacto directo visível entre o eléctrodo LL e os incisivos superiores não podemos esquecer que a sua localização é externa, na região do bordo do vermelhão, pelo que é mais importante analisar a sua trajectória do que o ponto de articulação.

Pode observar-se então que de entre os vários articuladores monitorizados, aquele que apresenta maior deslocação é precisamente o lábio inferior, seguido da mandíbula que suporta parte do seu movimento ascendente. A língua não apresenta uma mudança

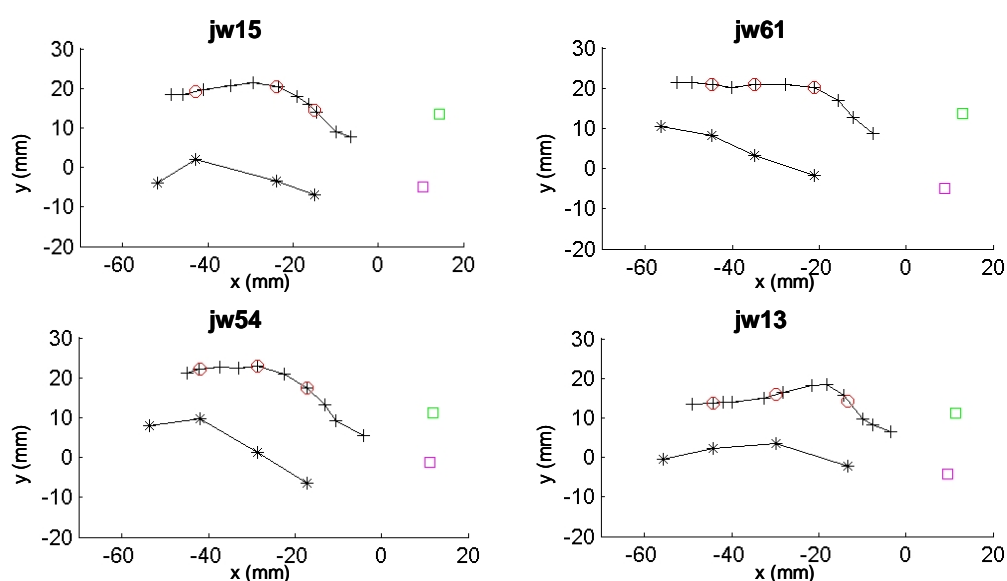
evidente de postura relativamente à vogal anterior durante a produção desta fricativa, o que confirma que não tem parte activa na produção do som.



**Figura 4.20** Imagens sobrepostas da produção da consoante [f] na prova TP016 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

Analisando a Figura 4.21 conjuntamente com a Tabela 4.5, a medida L-L, relativa à distância entre os lábios, quando comparada com os restantes sons, indica uma grande proximidade entre os lábios, o que só se verifica também no som [p] por ser bilabial. Esta proximidade deve-se precisamente ao movimento de subida e ligeira posteriorização do lábio inferior, já que, como observado na Figura 4.20, não há grande mobilidade do lábio superior.

Considerando as variáveis em estudo, no grupo feminino (jw54 e jw13) os lábios têm uma relação próxima da verticalidade, enquanto que no grupo masculino (jw15 e jw61) parece haver ligeira retracção do lábio inferior em relação ao superior. A mesma relação pode ser observada na Figura 4.21 quanto aos incisivos inferiores, que estão mais anteriorizados no grupo feminino. Esta configuração pode explicar o facto de a medida L-L ser menor no grupo feminino, indicando uma maior proximidade entre os lábios.



**Figura 4.21** Produção da consoante [f] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

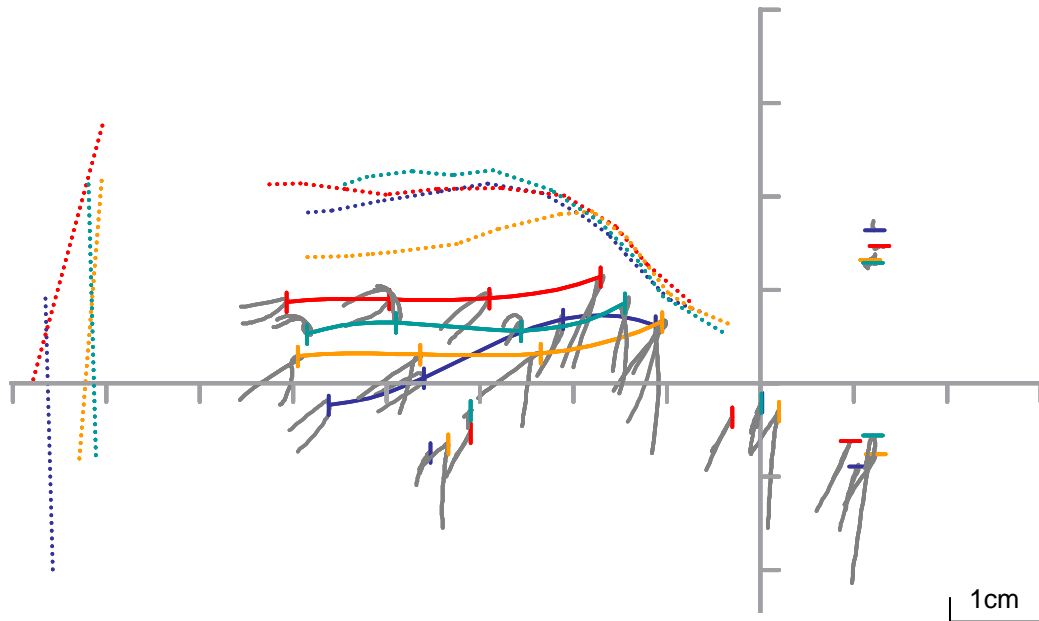
#### **4.3.2.2. Análise articulatória de [s]**

Através da Figura 4.22 podemos observar a articulação do fone [s] nos quatro informantes. Observa-se uma aproximação do ápex da língua da região alveolar e uma aproximação dos incisivos superiores e inferiores.

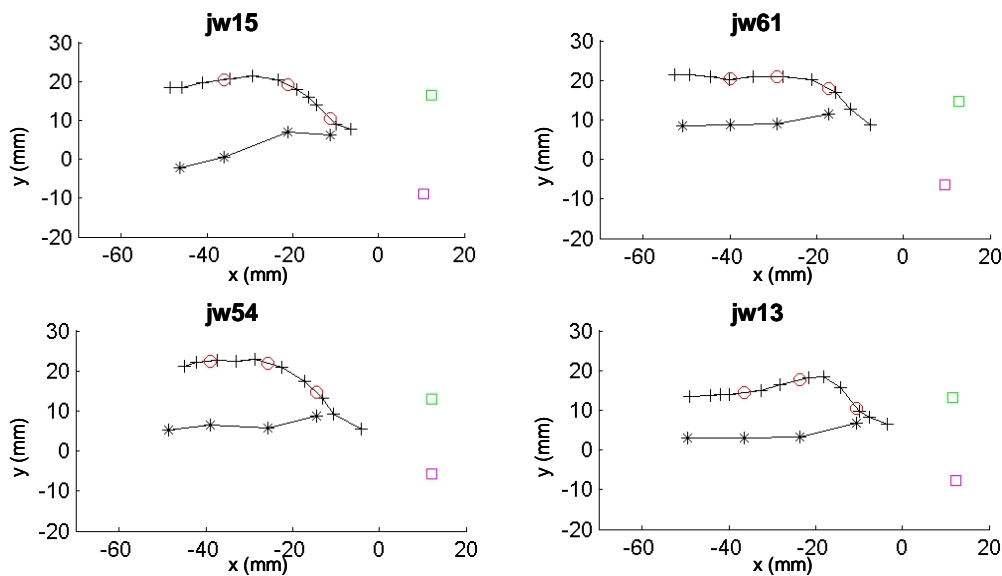
Verifica-se que jw15 (MC11) e jw13 (FC12) apresentam o ponto de articulação mais anterior, seguidos de jw54 (FC11) e de jw61 (MC12), respectivamente. Quanto à postura da língua, apenas jw15 apresenta um formato ligeiramente diferente, com maior elevação do eléctrodo T2. jw15 e jw54 apresentam grande proximidade entre os incisivos maxilares e mandibulares, enquanto que jw13 apresenta uma postura mais anterior, indiciando o que parece ser uma mordida cruzada, mas que pode ser explicado por uma adaptação a uma oclusão dentária de classe II divisão 2. A postura da língua de jw61 também se aproxima desta configuração, embora numa região mais posterior.

Complementando a análise da Figura 4.23 com a informação da Tabela 4.5, verifica-se que a aproximação máxima ao palato, indicativa do ponto de articulação, se localiza ao nível do ápex da língua (T1) com distâncias ao palato de: 4 mm para jw15 e jw13, 6 mm para jw54 e 7 mm para jw61. A localização antero-posterior do ponto de articulação é indicada pela medida PtX que apresenta os seguintes valores: 11 mm para jw15 e jw13, 19 mm para jw54 e 21 mm para jw61. Estes valores parecem estar

relacionados com os da medida T1-P. Estes dados são concordantes com a análise subjectiva realizada a partir da Figura 4.22.



**Figura 4.22** Imagens sobrepostas da produção da consoante [s] na prova TP016 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).



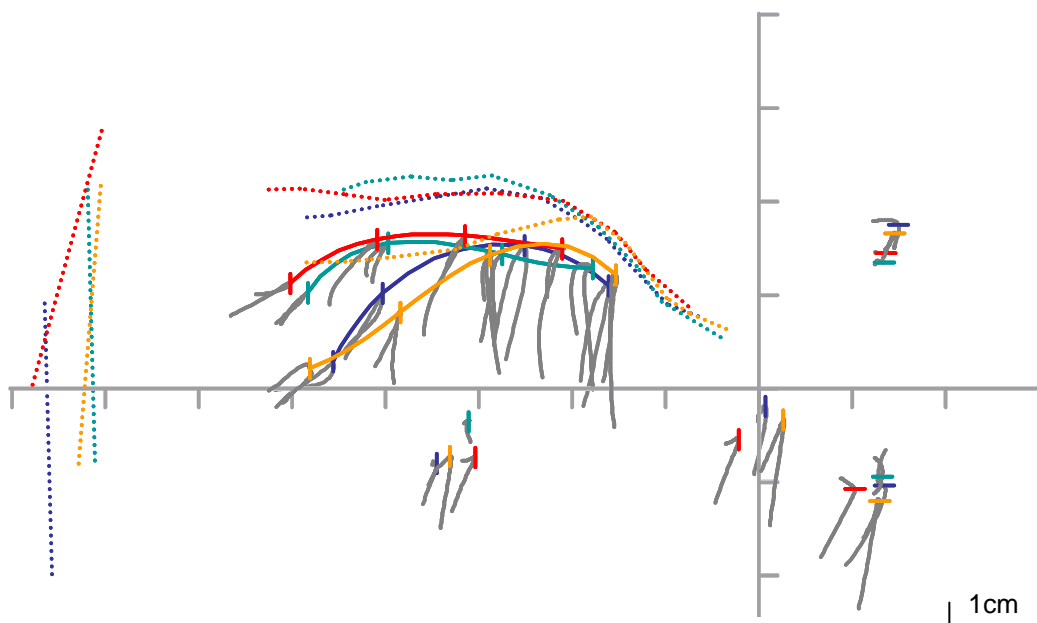
**Figura 4.23** Produção da consoante [s] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

Relacionando os resultados da análise articulatória com a análise espectral realizada na Secção 4.3.1.3. verificamos que parece haver uma relação entre o ponto de articulação

de cada informante e a frequência do segundo pico dos espectros extraídos. Os informantes jw15 e jw13 apresentam o mesmo ponto de articulação, a 4 mm do topo dos incisivos, e valores idênticos de frequência no segundo pico, respectivamente 6.7 e 6.6 kHz. Verifica-se que jw54 apresenta uma distância aos incisivos de 6 mm e um decréscimo da frequência espectral para 6.2 kHz. O informante jw61 apresenta o ponto de articulação mais posterior, com 7mm de distância aos incisivos, e uma redução do segundo pico para 5.2 kHz. Assim, o segundo pico parece sofrer uma redução directamente relacionada com a posteriorização do ponto de articulação, o que seguindo o raciocínio que explica as diferenças espectrais entre [s] e [ʃ] (Jesus, 2001; Borden, et al., 2003), pode ser explicado pelo aumento da cavidade de ressonância anterior.

#### 4.3.2.3. Análise articulatória de [ʃ]

A representação articulatória do som [ʃ] dos vários informantes está patente na Figura 4.24. Este som é caracterizado por uma aproximação da língua ao palato na região pós-alveolar e ligeira protrusão labial.



**Figura 4.24** Imagens sobrepostas da produção da consoante [ʃ] na prova TP016 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

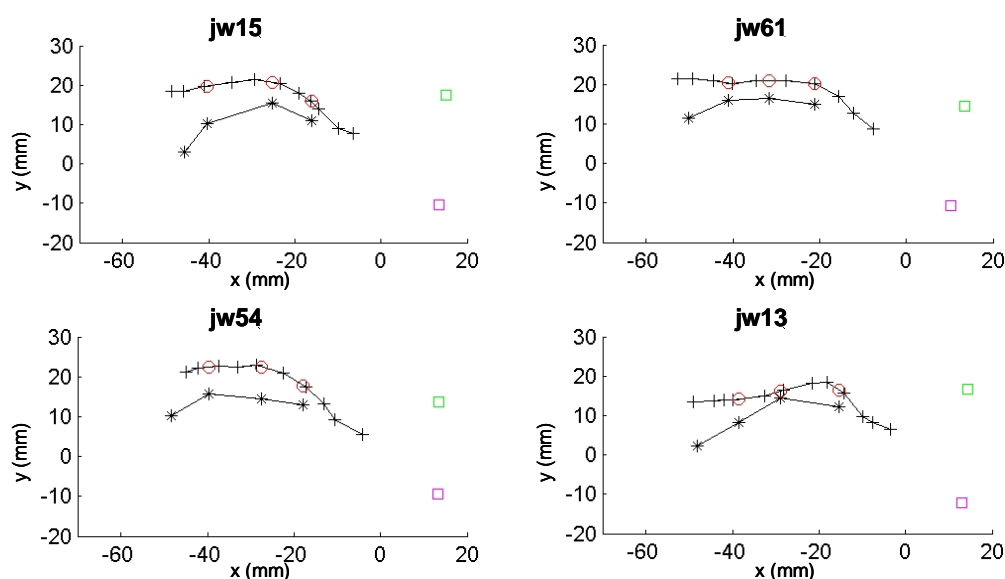
Observando a localização do eléctrodo T1 de cada informante, verifica-se novamente que jw15 (MC11) e jw13 (FC12) apresentam o ponto de articulação mais

anterior, seguidos de jw54 (FC11) e de jw61 (MC12). Comparativamente com a produção de [s] todos os informantes apresentam uma posição mais posterior do eléctrodo T1. Note-se que apesar de T1 parecer indicar o ponto de aproximação máxima entre a língua e o palato, jw13 apresenta uma grande proximidade também no eléctrodo T2, devido à forma do seu palato. Em jw61 e jw54 observa-se uma posição de língua próxima da horizontalidade ao nível dos eléctrodos T1, T2 e T3.

De uma forma geral, o lábio superior apresenta maior deslocação que no som [s] e o lábio inferior localiza-se alguns milímetros abaixo. Considerando que a localização do eléctrodo LL no lábio é externa e que na protrusão labial acontece uma anteriorização do bordo interno do lábio, o movimento descendente de LL pode efectivamente estar relacionado com a protrusão labial.

A análise da Figura 4.25 e dos valores da Tabela 4.5 permite concluir que o ponto de articulação, apesar de visualmente parecer ser na zona do eléctrodo T1 é na verdade em T2 em jw13, com 2 mm de distância ao palato, e em T2 e T3 em jw61, com 4 mm de distância ao palato. Neste último, dada a proximidade de toda a língua ao palato, torna-se difícil perceber, ou tentar demonstrar com base nos dados disponíveis, em que região da cavidade é que efectivamente gerado o ruído característico desta fricativa. No informante jw15 a maior proximidade ao palato é representada pelos eléctrodos T1 e T2, com 5 mm de distância. O único informante com o ponto de articulação em T1 é jw54, com 5 mm de distância ao palato.

Dado que a articulação é mais posterior no fone [ʃ], a medida PtX apresenta valores mais elevados que em [s]: jw15 com 16 mm e jw54 com 18 mm. Em jw61 e jw13 surgem medidas consideravelmente mais elevadas, respectivamente 41 e 29 mm, dado que a maior proximidade ao palato acontece em eléctrodos mais posteriores. A distância entre os lábios é superior em todos os informantes, quando comparados com o fone [s], devido à projecção labial típica desta produção.



**Figura 4.25** Produção da consoante [ʃ] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

Os informantes de classe II (jw61 e jw13) apresentam um ponto de máxima aproximação ao palato mais posterior que os de classe I (jw15 e jw54). Este resultado parece estar directamente relacionado com a análise espectral do fone [ʃ], anteriormente apresentada, que revela igualmente diferenças relacionadas com a *oclusão dentária*, dado que os informantes de classe II apresentam um pico na tarefa TP016 numa frequência menor (2.6 e 2.9 kHz) que os de classe I (3.4 e 3.6 kHz). Este fenómeno pode explicar-se, uma vez que segundo Borden et al. (2003), uma articulação mais posterior está associada a uma cavidade de ressonância anterior maior.

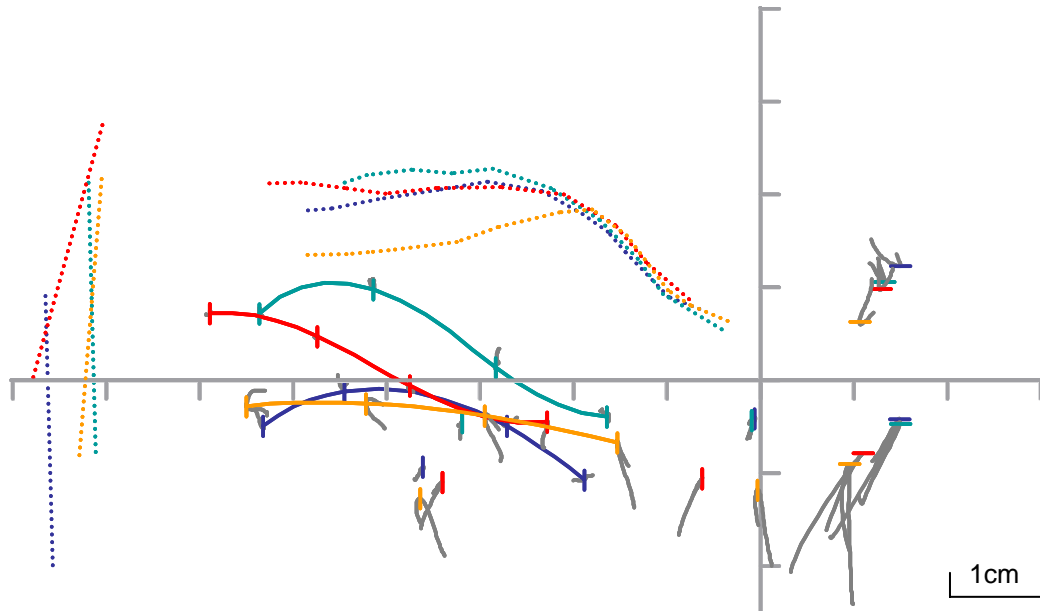
#### 4.3.2.4. Análise articulatória de [p]

As Figuras 4.26 e 4.27 representam a produção do fone [p] pelos quatro informantes. Sendo este uma oclusiva bilabial existe um deslocamento de ambos os lábios em direcção um ao outro, não havendo grande interferência da língua na articulação.

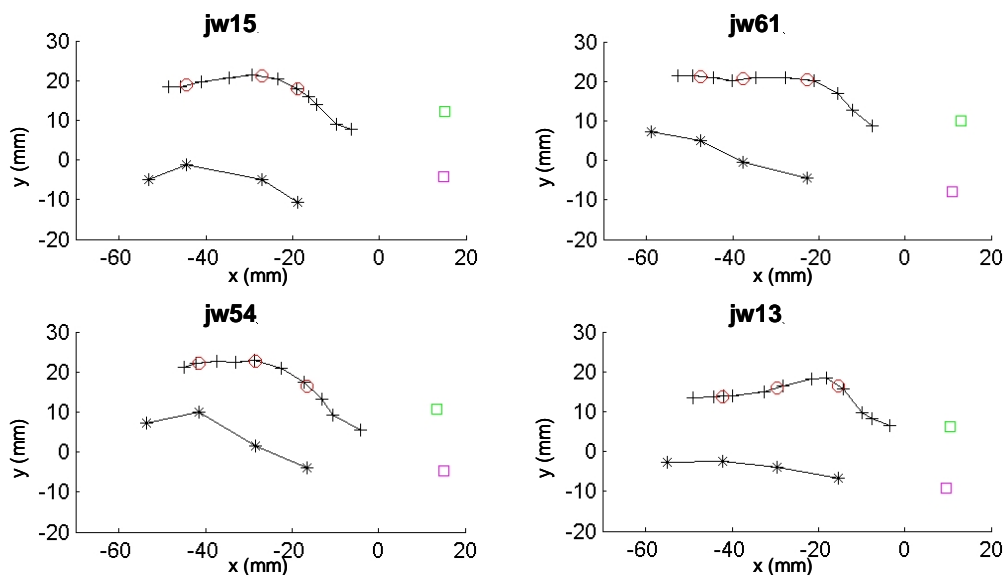
É possível observar principalmente uma deslocação acentuada dos eléctrodos dos lábios e da mandíbula. O lábio superior mostra neste som a maior deslocação, em direcção descendente, quando comparada com os restantes fones, o que se pode considerar natural já que é o único em que intervém como articulador activo. Apesar de haver deslocação dos eléctrodos da mandíbula em sentido ascendente, apoiando o encerramento da cavidade oral, o deslocamento do lábio inferior é nitidamente mais acentuado. Na imagem não é



possível observar o contacto entre os eléctrodos dos lábios dada a sua localização, mas é evidente uma grande proximidade entre eles, que é indício da oclusão realizada. A posição da língua é pouco relevante para a produção deste fone dado que é natural que seja mais influenciada pelas vogais anterior e posterior do que pela oclusiva em questão.



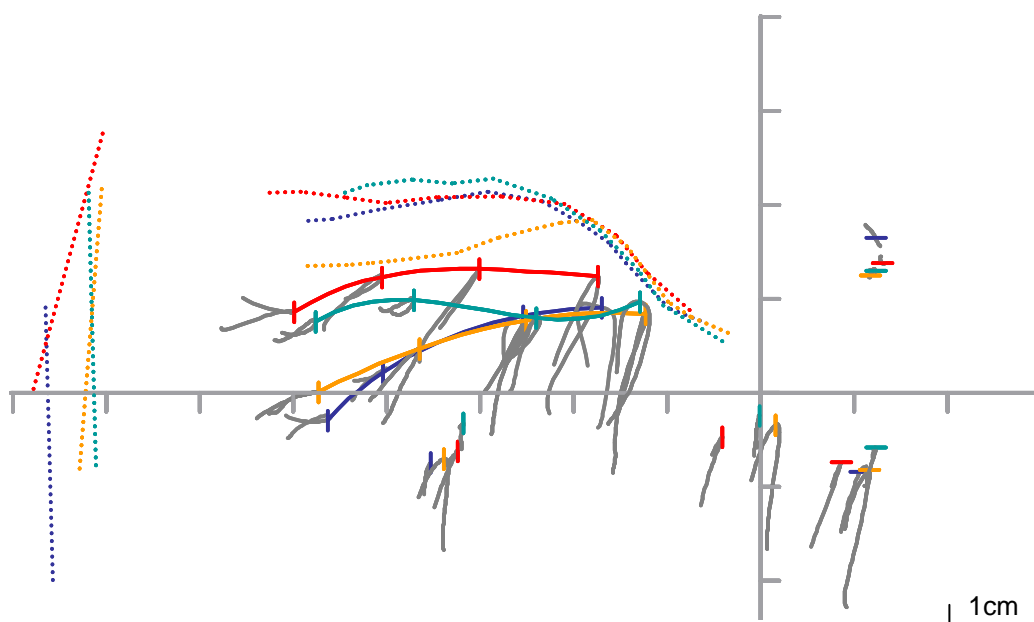
**Figura 4.26** Imagens sobrepostas da produção da consoante [p] na prova TP016 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).



**Figura 4.27** Produção da consoante [p] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

#### 4.3.2.5. Análise articulatória de [t]

Através da Figura 4.28 podemos observar a articulação do fone [t], uma oclusiva alveolar, pelos quatro informantes. Dá-se uma aproximação do ápex da língua à região alveolar e uma elevação da mandíbula.



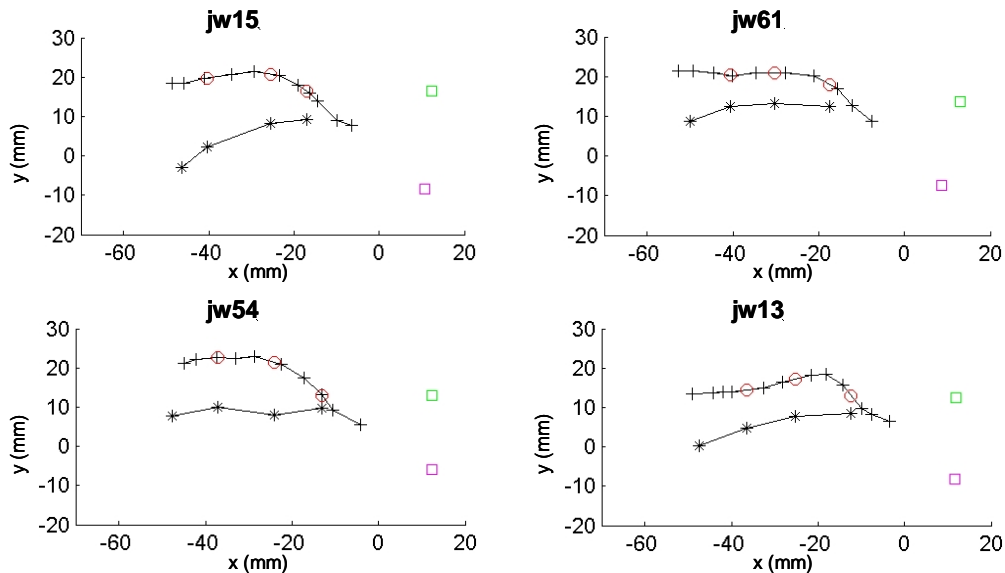
**Figura 4.28** Imagens sobrepostas da produção da consoante [t] na prova TP016 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).

Todos os informantes apresentam um ponto de articulação compatível com o descrito na literatura (IPA, 1999; Borden, et al., 2003; Mateus, et al., 2005). No entanto, apesar do ponto de articulação do [t] ser por norma próximo do de [s], observa-se alguma variação na comparação entre os quatro informantes. Neste fone jw54 (FC11) e jw13 (FC12) apresentam um ponto de articulação mais anterior e quase coincidente, seguidos de jw15 (MC11) e jw61 (MC12) com uma localização também próxima mas mais posterior.

Há grande deslocação da língua, principalmente da região anterior, para a produção deste fone, sendo o movimento acompanhado da deslocação ascendente da mandíbula e do lábio inferior, este de forma aparentemente passiva. As trajectórias de movimento dos eléctrodos são próximas entre os vários informantes. A configuração da língua é também bastante próxima entre todos os informantes, sendo que jw54 apresenta uma ligeira depressão da língua sensivelmente ao nível de T2.

Considerando a Figura 4.29 e a Tabela 4.5 confirma-se que jw54 e jw13 apresentam um ponto de articulação mais anterior. Em todos os informantes verifica-se que

o eléctrodo T1 é o que melhor determina o ponto de articulação. As medidas de distanciamento entre os lábios não parecem ser relevantes.



**Figura 4.29** Produção da consoante [t] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

A análise articulatória parece apontar para similaridades entre indivíduos do mesmo género, com um ponto de articulação mais anterior nas mulheres (jw54 e jw13), e mais posterior nos homens (jw15 e jw61). Relativamente aos resultados da análise espectral verificou-se anteriormente que os picos seleccionados não parecem ser indicativos de relações pertinentes ao objecto de estudo deste trabalho. Comparando as medidas articulatórias com os valores dos picos obtidos na tarefa TP016 (Figura 4.18) também se torna difícil perceber relações entre os picos seleccionados e os dados articulatórios obtidos.

#### 4.3.2.6. Análise articulatória de [k]

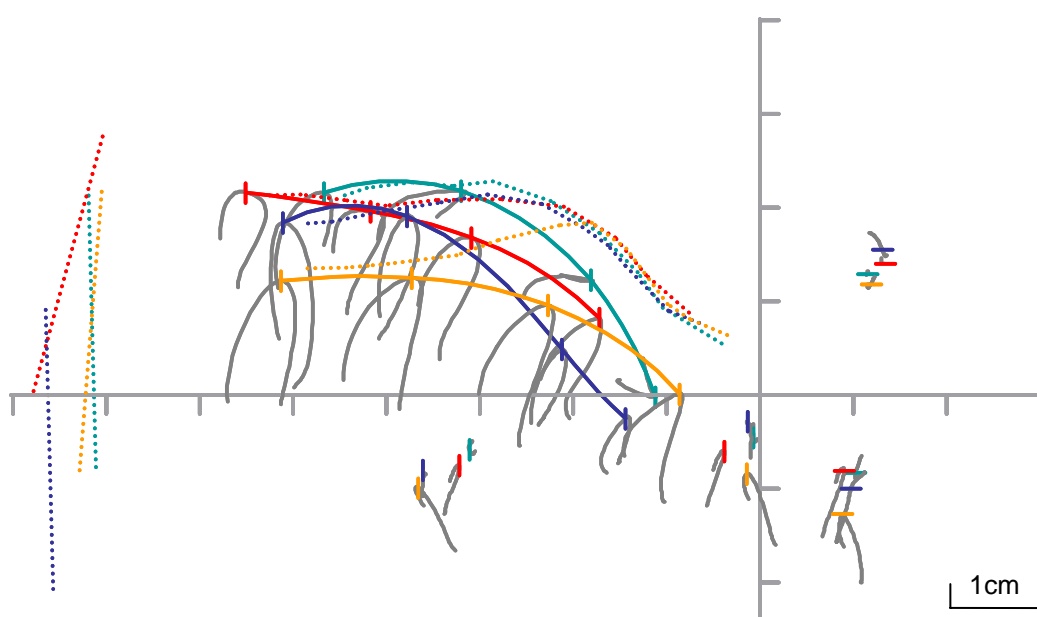
A representação articulatória do fone [k] para os vários informantes está patente nas Figura 4.30 e 4.31. Este fone, uma oclusiva velar, é caracterizado por uma aproximação do dorso da língua ao palato duro e/ou mole.

A informação visual que mais se evidencia na Figura 4.30 está relacionada com a trajectória do movimento de todos os eléctrodos da língua. Esta forma parece estar directamente relacionada com a postura articulatória das vogais anterior [ʌ] e posterior [a],

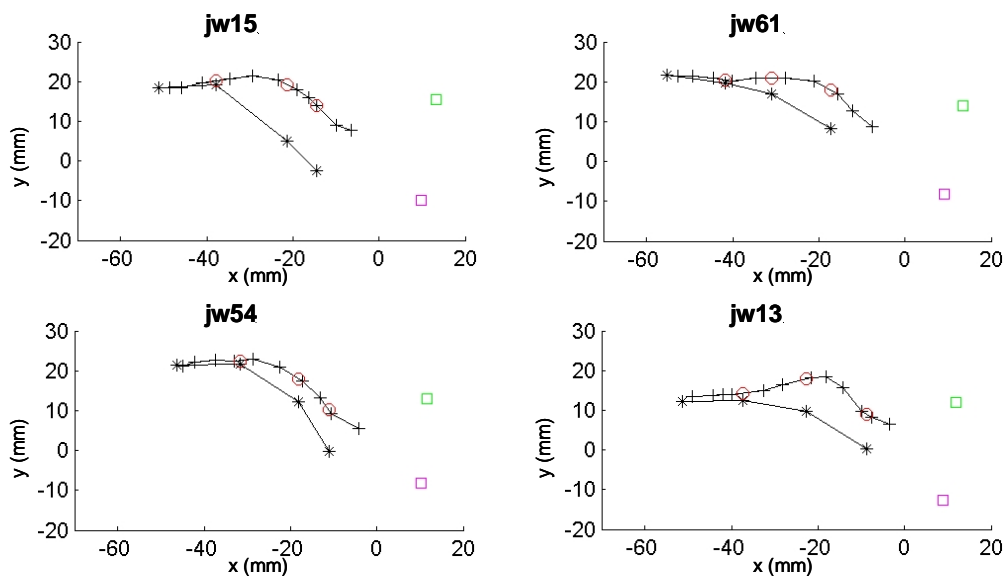
dado que em ambas a posição da língua é mais baixa. Consideramos assim que provavelmente a trajectória seria diferente noutro contexto vocálico. Há ainda uma deslocação ascendente da mandíbula, visível nos eléctrodos MANi, MANm e LL, que parece acompanhar a elevação da língua, embora de forma menos acentuada.

O ponto de articulação é o mais posterior de todos os fones analisados, e está ao nível da transição entre os eléctrodos T3 e T4. A região do palato implicada é constituída pela transição entre o palato duro e o palato mole. O facto de o palato mole não estar representado na imagem dificulta a sua interpretação. É possível observar que as linhas representativas das línguas de jw15 e jw54 cruzam as linhas dos seus palatos, o que é funcionalmente impossível. Isto é justificado pelo facto da linha entre os eléctrodos ser apenas uma estimativa, pelo que é provável que haja apenas contacto entre as duas estruturas nesta região. Este erro de cálculo do *TF32* é corrigido na Figura 4.31, onde a linha entre os eléctrodos é uma recta e não uma estimativa.

Relativamente ao posicionamento dos articuladores parece haver alguma semelhança entre a curvatura das línguas de jw15 (MC11) e jw54 (FC11), com a região posterior mais curvada, e de jw61 (MC12) e jw13 (FC12), com a mesma região mais horizontal. Para a classe I a curvatura da região posterior da língua é mais acentuada que na classe II, em que é mais rectilínea e horizontal.



**Figura 4.30** Imagens sobrepostas da produção da consoante [k] na prova TP016 dos informantes jw15 (azul), jw61 (vermelho), jw54 (verde) e jw13 (laranja).



**Figura 4.31** Produção da consoante [k] na prova TP016 dos informantes jw15, jw61, jw54 e jw13.

A Figura 4.31, complementada com a Tabela 4.5, confirma que a maior proximidade entre os articuladores se dá entre o eléctrodo T3 e o palato. A distância ao palato aumenta progressivamente da região posterior para a anterior em todos os informantes. A distância entre o ponto de contacto identificado e os incisivos varia entre 32 e 42 mm, verificando-se que no grupo masculino (jw15 e jw61) esta distância é superior à do grupo feminino (jw54 e jw13), havendo no entanto uma grande proximidade entre jw15 e jw13. Esta informação parece ser insuficiente, uma vez que tendo em conta o ponto de articulação deste fone, seria importante, uma leitura mais detalhada das medidas ao nível do T4.

Tendo em consideração os espectros do fone [k] analisados anteriormente, verificou-se que o primeiro pico seria pouco relevante para relacionar com diferenças articulatórias, dado ser pouco variável entre os informantes. No entanto, apesar de também apresentar poucas diferenças, as variações inter-informantes no segundo pico analisado podem ser potencialmente relacionadas com a distância entre os lábios. Efectivamente, quer a medida LL-UL quer a medida deste pico parecem variar da mesma forma: jw54, LL-UL = 21 mm e Pico 2 = 7.7 kHz; jw61, LL-UL = 23 mm e Pico 2 = 8.3 kHz; jw13, LL-UL = 25 mm e Pico 2 = 8.4 kHz; e jw15, LL-UL = 26 mm e Pico 2 = 8.5 kHz.

#### **4.4. SUMÁRIO**

Neste capítulo procedemos à classificação e descrição detalhada das propriedades articulatórias e acústicas das consoantes [p, t, k, f, s, ʃ].

A metodologia foi definida com vista a analisar as consoantes previamente descritas em contexto de não-palavra VCV e de palavra. A metodologia usada consistiu na análise de espectrogramas, espectros multitaper, sobreposição de posturas articulatórias e medidas articulatórias, e considerou diferenças individuais e relacionadas com as variáveis *género* e *oclusão dentária*.

A análise acústica temporal não revelou diferenças relacionadas com o *género* ou a *oclusão dentária*. Os sons [f] e [p] apresentaram resultados pouco reveladores, dado que quer a análise acústica quer a articulatória se mostraram bastante limitadas comparativamente com os restantes sons. No entanto, sendo os dois sons mais anteriores, são também aqueles de que esperávamos, à partida, adaptações menos acentuadas.

Encontrámos indícios de relação directa entre algumas medidas articulatórias e acústicas: a variação do segundo pico do espectro multitaper do [s] e o seu ponto de articulação; a variação do pico de [ʃ] e o ponto de máxima aproximação ao palato; e a variação do segundo pico de [k] e a distância entre os lábios.

Quanto às variáveis em estudo, verificámos que: em [s] há adaptações diferentes por parte dos informantes de classe II; em [ʃ] o ponto de articulação é mais posterior nos informantes de classe II; em [t] encontraram-se indícios de relação entre o *género* e a postura articulatória; e em [k], também existem diferenças relacionadas com o *género* quanto à curvatura da região posterior da língua.

# **CAPÍTULO 5**

## **CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO**

### **5.1. CONCLUSÕES**

No âmbito do presente trabalho propusemo-nos determinar relações entre a oclusão dentária e a articulação verbal através do estudo da XRMB-SPD. Descrevemos as variáveis e a base de dados em estudo de forma extensiva, e procedemos à selecção da amostra e do Corpus para realizar análise articulatória e acústica descritiva e comparativa de sons vocálicos e consonânticos. Finda a exposição dos vários capítulos, propomo-nos agora a integrar e interpretar a informação obtida, com vista a um entendimento mais alargado da problemática levantada neste estudo.

A classificação da variável *oclusão dentária* é realizada de forma generalizada segundo a classificação de Angle, embora seja também prática corrente complementá-la com a avaliação da tipologia facial e com análise cefalométrica. Após levantamento bibliográfico extensivo verificámos que, no que respeita à articulação dos sons da fala, a variável *oclusão dentária* é apenas um factor indicativo da área do tracto vocal existente para articular. Assim, o facto de a XRMB-SPD apresentar limitações no número de parâmetros utilizados na caracterização dos seus informantes, originou a necessidade de encontrar formas de complementar a variável principal com medidas mais objectivas.

O primeiro objectivo descrito foi, então, desenvolver um método inovador na caracterização dos informantes que se considerasse adequado relativamente à *oclusão dentária*, com base nos dados existentes na XRMB-SPD, de forma a contornar as suas limitações. Com este fim, descrevemos detalhadamente todas as características consideradas pertinentes da XRMB-SPD e, baseados no *A-space* de Honda et al. (1996) e na análise cefalométrica de Ricketts, propusemos um conjunto de cinco medidas, extraídas dos dados disponíveis na base de dados, para caracterizar o espaço articulatório oral dos vários informantes. Estas medidas constituem a metodologia que denominámos por

*espaço-A modificado*, incluindo: M1, distância antero-posterior do EAO; M2, área sagital do EAO; M3, área horizontal do EAO; M4, inclinação da parede posterior da faringe; e M5, ângulo do arco da mandíbula. Usámos esta metodologia, com resultados satisfatórios, para complementar a informação relativa à classe de oclusão dentária durante o processo de selecção e caracterização dos quatro informantes, descrito no Capítulo 2. Através dela, procuramos reduzir a potencial influência do espaço articulatorio oral nos resultados, tendo seleccionado os quatro informantes que apresentavam medidas medianas representativas do seu grupo de oclusão dentária e género, o que resultou numa redução da subjectividade na análise da variável principal em estudo, a *oclusão dentária*.

O *espaço-A modificado* permitiu constatar que a inclinação da faringe é mais acentuada na classe II e que estes indivíduos parecem apresentar áreas articulatorias menores que os de classe I, devido à localização mais anterior da faringe. Por outro lado, as medições também mostraram que a faringe se localiza numa região mais posterior nos homens, o que é indicativo de um tracto vocal com maior profundidade, tal como referia Simpson (2001; 2002).

Em provas de mobilidade não-verbal analisadas, verificou-se ainda que na deglutição o ponto de apoio da língua no palato se encontra mais posteriorizado na classe II do que na classe I, parecendo também haver tendência a uma deglutição mais anterior no grupo feminino relativamente ao masculino. Por sua vez, na projecção lingual verifica-se que a curvatura para baixo na porção anterior da língua é mais acentuada nos elementos de classe I do que nos de classe II e que a região posterior da língua se encontra mais anteriorizada nas mulheres do que nos homens.

Um outro objectivo deste estudo, provavelmente o mais importante, foi descrever e comparar as propriedades acústicas e fenómenos articulatorios decorrentes da produção de sons vocálicos e consonânticos em informantes de classes de oclusão dentária e género diferentes. Esta análise foi efectuada com base em revisão bibliográfica e metodologia detalhadamente descritas ao longo dos Capítulos 3 e 4.

Os resultados da análise acústica das vogais [a, i, u, æ] em contexto de sílaba e palavra não revelaram relações com a *oclusão dentária*. A análise acústica temporal das consoantes estudadas [p, t, k, f, s, ʃ] não revelou diferenças relacionadas com o *género* ou a *oclusão dentária*.



A análise articulatória da vogal [a] não evidenciou diferenças pertinentes na comparação dos informantes quanto ao *género* ou à *oclusão dentária*. Na generalidade das vogais observámos que a base da língua se encontra mais posteriorizada no grupo masculino em relação ao feminino. Relativamente às vogais [i, æ] observámos um posicionamento da língua muito aproximado no grupo de classe I, e diferentes formas de adaptação articulatória no grupo de classe II, sendo a elevação da língua realizada numa localização mais posterior no informante MC12 e mais anterior no informante FC12.

Relativamente às consoantes [f] e [p], sendo os dois sons mais anteriores, são também aqueles em que observámos adaptações menos acentuadas. Quanto às variáveis em estudo, verificámos que: em [s] há adaptações diferentes por parte dos informantes de classe II; em [ʃ] o ponto de articulação é mais posterior nos informantes de classe II; em [t] encontraram-se indícios de relação entre o *género* e a postura articulatória; e em [k], também existem diferenças relacionadas com o *género* quanto à curvatura da região posterior da língua.

O terceiro objectivo a que nos propusemos, e possivelmente o mais complexo, foi relacionar as propriedades acústicas identificadas com os fenómenos articulatórios descritos. Para tal, procurámos explorar, segundo a teoria acústica da produção de fala, de que forma a configuração dos articuladores influencia as propriedades acústicas de cada som, nomeadamente as formantes nas vogais e os picos espectrais das consoantes.

O cruzamento de dados acústicos e articulatórios nas vogais foi limitado por características próprias da XRMB-SPD. Verificámos que os pressupostos teóricos de Titze (2000), relativos à influência da articulação na variação acústica das vogais, parecem justificar as relações encontradas na F2 da vogal [æ], mas não na da vogal [a].

Na análise espectral das consoantes encontrámos indícios de relação directa entre algumas medidas articulatórias e acústicas: a variação do segundo pico do espectro multitaper do [s] e o seu ponto de articulação; a variação do pico de [ʃ] e o ponto de máxima aproximação ao palato; e a variação do segundo pico de [k] e a distância entre os lábios.

O último objectivo proposto foi relacionar os resultados obtidos com a caracterização inicialmente realizada dos informantes, ou seja, com as suas condições

estruturais, tendo-se pretendido uma compreensão de base funcional para as diferenças articulatórias e acústicas descritas. Este cruzamento de informação foi feito de forma discreta ao longo da apresentação e interpretação dos resultados dos vários capítulos.

Destacamos a diferença encontrada na forma do palato do informante FC12, que embora não se associasse a uma redução na área do espaço articulatorio oral, implicou várias adaptações articulatórias observadas, nomeadamente nas vogal [i, u, æ] e nas consoantes [ʃ, k].

Nos sons [t, s, ʃ] evidenciaram-se diferentes adaptações articulatórias entre os dois informantes de classe II, já que FC12 apresenta pontos articulatorios anteriorizados em relação aos informantes de classe I, enquanto que MC12 os apresenta posteriorizados. O mesmo se verificou nas vogais [i, æ]. Este facto pode ser justificado pelas diferentes configurações anatómicas do palato e parece implicar o uso de diferentes grupos musculares na adaptação articulatória da língua. No entanto, este não foi o único factor a levantar questões. Ao contrário do informante MC12 que apresenta os incisivos inferiores sempre recuados em relação aos superiores, em FC12 é frequente o cruzamento anterior pelos incisivos inferiores, aparentando uma mordida cruzada anterior. Sendo ambos os informantes da mesma classe de oclusão dentária, esta característica pode ser indicativa de divisões diferentes, tendo possivelmente MC12 uma divisão 1, a classe II mais típica, e FC12 uma divisão 2, com linguoversão dos incisivos superiores e possível supraocclusão, o que justificaria o frequente deslizamento anterior da mandíbula observado durante a fala (Bianchini, 2002).

## **5.2. LIMITAÇÕES**

A XRMB-SPD é uma base de dados que tem dado origem a múltiplas investigações e publicações científicas na área da fala desde que foi criada em 1994. Apesar do grande número de informantes e da descrição detalhada e rigorosa de cada um, verificamos à partida limitações, como a ausência de análise cefalométrica e de avaliação da tipologia facial, que condicionaram a idealização do presente estudo. A classe de oclusão dentária foi avaliada e apresentada apenas nas categorias de Classe I, Classe II e Classe III, tendo sido omitidas as divisões, o que dificultou a interpretação dos resultados, nomeadamente na comparação dos informantes MC12 e FC12.

A amostra foi outra das limitações impostas desde o início. O facto de a XRMB-SPD ter apenas um informante masculino de classe II e nenhum de classe III em condições favoráveis de análise, implicou que fosse à partida excluída a possibilidade de analisar os três tipos de oclusão dentária, e que o estudo tomasse um âmbito maioritariamente descritivo com apenas quatro informantes, o que acabou por se revelar uma mais-valia, considerando os resultados obtidos.

Outra das adversidades do estudo prendeu-se com a selecção do Corpus, dado que também este dependeu directamente do material existente na XRMB-SPD. Na verdade, apesar do grande número de faixas gravadas e da diversidade das provas, verificamos que, fazendo uma análise do conteúdo fonético da base de dados, há uma grande discrepância na incidência dos vários sons, não sendo perceptível na elaboração do Corpus qualquer tipo de equilíbrio relativo ao contexto fonético de cada som. Este facto dificultou principalmente a selecção dos sons em contexto de palavra, pelo que optámos por uma redução do número de sinais analisados, o que pode ter influenciado de alguma forma os resultados finais.

Uma das maiores dificuldades do estudo prendeu-se com a relação entre os resultados da análise acústica e articulatória, principalmente no caso das vogais. Em primeiro lugar, uma comparação válida teria necessariamente que dispor de informação relativa a todo o tracto vocal, até à região glótica, de forma a poder descrever a forma do ressoador em toda a sua extensão. O segundo factor, contudo, poderia ser ultrapassado, dado que se relaciona com a variabilidade estrutural encontrada nos informantes, como é o

caso do palato, que dificulta a comparação por mera análise visual. Para tal, seria pertinente proceder à normalização do palato (Simpson, 2001; 2002) ou à medição de distâncias entre os eléctrodos da língua e o palato, como se efectuou para a análise das consoantes.

Relativamente às consoantes, destacamos a dificuldade que encontramos na análise dos espectros multitaper, que pelo facto de se realizada manualmente tem inerente um alto grau de subjectividade.

O somatório das limitações descritas, traduz-se na impossibilidade de generalizar as conclusões deste estudo para a população em geral no que diz respeito à *oclusão dentária* e às adaptações da fala. Consideramos no entanto que este estudo tem um valor acrescido no seu contributo metodológico, já que provavelmente mais difícil do que criar uma base de dados para a investigação de uma variável específica, é fazer a investigação dessa variável numa base que não foi construída para esse efeito. Além disto a interpretação funcional dos resultados aliada à relação entre a análise acústica e articulatória são características de âmbito descritivo que dificilmente se encontram em estudos de maiores dimensões.

### 5.3. ESTUDOS FUTUROS

Após a realização desta dissertação consideramos ser importante valorizar os vários saberes relacionados com as Ciências da Fala a que recorremos, dado que se tornaram fundamentais para a sua conclusão. É importante dar continuidade a estudos nesta área, não apenas relacionados com a variável oclusão dentária, mas com muitas outras com que nos deparamos quer neste estudo quer na prática clínica corrente.

Consideramos importante que especialidades como a ortodontia e a otorrinolaringologia associem às suas áreas de interesse o estudo científico da fala de uma forma objectiva e generalizada, com vista a uma evolução qualitativa nos saberes de que dispomos actualmente.

O desenvolvimento de técnicas imagiológicas funcionais como a que tivemos oportunidade de estudar são de grande interesse quer para a formação específica do Terapeuta da Fala quer, futuramente, para a sua actividade profissional. A disponibilização de exames desta natureza poderá vir a tornar-se num processo complementar de diagnóstico de perturbações da fala, permitindo a médicos e terapeutas tomar opções mais acertadas na terapêutica seleccionada, bem como monitorizar de forma objectiva as evoluções alcançadas ao longo do tempo.

Relativamente ao estudo da variável *oclusão dentária* em Portugal, seria fundamental aumentar a amostra e a diversidade das classes e divisões estudadas, bem como criar um Corpus equilibrado em Português Europeu. Seria imprescindível criar uma equipa multidisciplinar, de forma a tornar possível a análise do espaço articulatorio de todo o trato vocal e das relações esqueléticas e musculares existentes. O estudo dinâmico da fala implica custos muito elevados, pelo que consideramos que a importação de um sistema *X-ray microbeam* para Portugal seria pouco compensatória, dadas as limitações que acabamos por detectar neste estudo. Parece-nos, no entanto, que a deslocação dos informantes ao estrangeiro seria uma estratégia viável, considerando a possibilidade de construção de um Corpus em Português Europeu foneticamente equilibrado e o complemento da avaliação das estruturas envolvidas na produção da fala com inclusão de Análise Cefalométrica.

Seria igualmente interessante estudar o impacto de tratamentos ortodônticos diversificados, tais como cirurgias ortognáticas ou correcção ortodôntica com aparelhagem fixa e/ou amovível, na fala. Tem sido dada grande relevância à influência das variações antero-posteriores do espaço oral na fala, caso de avanços mandibulares, mas o estudo de variações em medidas de altura e largura do trato vocal, influenciadas, por exemplo, pela utilização temporária de um disjuntor de palato, seria também de grande utilidade para o melhor entendimento das adaptações articulatórias.

Destacamos um facto observado no presente estudo que deverá merecer atenção no futuro: a compensação articulatória a palatos de diferentes alturas. Da mesma forma que um dos informantes produziu variadas adaptações funcionais a uma estrutura palatal baixa, sabemos que processos do mesmo género acontecem em palatos altos. É importante perceber que formas de tratamento podemos utilizar precocemente, para melhor compensar funcionalmente estruturas alteradas, ou por outro lado, a normalizar estruturas, alcançando padrões estéticos mais adequados e economia de esforço através de uma homeostasia funcional.

O processo fisiológico de fonação poderá também ser alvo de estudos através de sistemas como o *X-ray microbeam*, na medida em que é ampla a variedade de “focos de ressonância” observada na população e são poucos os estudos que explicam de forma detalhada de que forma se produzem. Um melhor conhecimento funcional destes aspectos seria de uma importância determinante para a actividade profissional do Terapeuta da Fala em casos de tratamento de patologia vocal ou no aperfeiçoamento vocal de profissionais da voz, como por exemplo cantores ou actores de dobragem.

É vasta a aplicabilidade da imagiologia funcional pelo que há muito a ganhar com a sua utilização nas mais variadas áreas. Acreditamos que as Ciências da Fala darão um forte contributo para o seu desenvolvimento e uso optimizado.

## BIBLIOGRAFIA

Angle, E H - *Treatment of Malocclusion of the Teeth*. 7 ed. Philadelphia: The SSW Co, 1907.

Araújo, A.; Vilarinho, H.; Jesus, L. - *The influence of occlusal class in the production of voiceless fricatives*. In: Conference on Turbulences, Berlim, 2005,

Ashouri, Nahal; Wadden, Gregory V - *Orthodontics for Adults and Children*, 2006. Disponível em: <http://www.drashouri.com/index.html> (Acedido a:11/11/2006).

Athanasiou, Athanasios E - *Orthodontic Cephalometry*. ed. London: Mosby-Wolfe, 1995.

Badin, P - Fricative consonants: Acoustic and X-ray measurements. *Journal of Phonetics*. 19(3-4):(1991). p. 397-408.

Baum, Shari R.; McFarland, David H. - The development of speech adaptation to an artificial palate. *Journal of the Acoustical Society of America*. 102:(1997). p. 2353-2359.

Behrens, S J; Blumstein, S E - Acoustic characteristics of English voiceless fricatives: A descriptive analysis. *Journal of Phonetics*. 16:(1988). p. 295-298.

Bianchini, E. - *A cefalometria nas alterações miofuncionais orais: diagnóstico e tratamento fonoaudiológico*. 5 ed. São Paulo: Pró-Fono, 2002.

Borden, Gloria J.; Harris, Katherine S.; Raphael, Lawrence J. - *Speech Science Primer. Physiology, Acoustics, and Perception of Speech*. 4 ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2003.

Daskalogiannakis, John - *Glossário de Termos da Ortodontia-Ortopedia Facial*. ed. Berlin: Dentaurum, 2004.

Fant, G. - *Acoustic Theory of Speech Production*. 2 ed. The Hague: Mouton, 1970.

Flanagan, J. - *Speech Analysis, Synthesis and Perception*. 2 ed. Berlim: Springer, 1972.

Guimarães, I. - *Protocolo de avaliação orofacial*. ed. Lisboa: Europraxis, 1995.

Hanson, M.; Barret, R. - *Fundamentos da miologia orofacial*. ed. Rio de Janeiro: Enelivros, 1995.

Hashi, M.; Honda, K.; Westbury, J. - Time-varying acoustics and articulatory characteristics of American English /r/: a cross-speaker study. *Journal of Phonetics*. 31:(2003). p. 3-22.

Hashi, Michiko; Westbury, John R.; Honda, Kiyoshi - Vowel posture normalization. *Journal of the Acoustic Society of America*. 104 (4):(1998). p. 2426-2437.

Honda, Kiyoshi, et al. - *Human Palate and Related Structures: Their Articulatory Consequences*. In: Fourth International Congress on Spoken Language Processing, Philadelphia, 1996,

Hu, W; Zhou, Y; Fu, M - Effect of skeletal Class III malocclusion on speech articulation. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 32(6):(1997). p. 344-6.

IPA - *Handbook of the International Phonetic Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

Jesus, L M T - *Acoustic Phonetics of European Portuguese Fricative Consonants*. Southampton: University of Southampton, 2001.

Jesus, L M T; Shadle, C H - A parametric study of the spectral characteristics of European Portuguese fricatives. *Journal of Phonetics*. 30(3):(2002). p. 437-464.



Jones, Jeffery A.; Munhall, K. G. - Learning to produce speech with an altered vocal tract: The role of auditory feedback. *Journal of the Acoustical Society of America*. 113 (1):(2003). p. 532-543.

Jongman, A; Wayland, R; Wong, S - Acoustic characteristics of English fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America*. 108(3):(2000). p. 1252-1263.

Kent, D.; Read, C. - *The Acoustic Analysis of Speech*. ed. San Diego: Singular, 1992.

Komshian, G H Y; Soli, S D - Recognition of vowels from information in fricatives: Perceptual evidence of fricative-vowel coarticulation. *Journal of the Acoustical Society of America*. 70(4):(1981). p. 966-975.

Lacerda, F P - Acoustic perceptual study of the Portuguese voiceless fricatives. *Journal of Phonetics*. 10:(1982). p. 11-22.

Ladefoged, Peter - *A course in phonetics*. 5 ed. Boston: Thomson Wadsworth, 2006.

Marchesan, I. Q. - *Fundamentos em Fonoaudiologia. Aspectos Clínicos da Motricidade Oral*. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

Mateus, Maria Helena Mira; Falé, Isabel; Freitas, Maria João - *Fonética e Fonologia do Português*. ed. Lisboa: Universidade Aberta, 2005.

McFarland, David H; Baum, Shari R; Chabot, Croline - Speech compensation to structural modifications of the oral cavity. *Journal of the Acoustic Society of America*. 100(2):(1996). p. 1093-1104.

Milenkovic, P. - *TF32 user's manual*. ed. Madison: University of Wisconsin, 2001.

Morris, D. - *Dictionary of Communication Disorders*. 4 ed. London: Whurr, 2004.

Myers, Jim - University of Wisconsin X-Ray Microbeam Facility 1995. Disponível em: <http://www.medsch.wisc.edu/ubeam/> (Acedido a:11/11/2006).

Narayanan, S S - *Fricative Consonants: An Articulatory, Acoustic and Systems Study*. Los Angeles: University of California at Los Angeles (UCLA), 1995.

Narayanan, S S; Alwan, A A H; Haker, K - An articulatory study of fricative consonantes using magnetic resonance imaging. *Journal of the Acoustic Society of America*. 98(3):(1995). p. 328-344.

Netter, Frank H - *Interactive Atlas of Human Anatomy*. Ciba Medical Education & Publications, 1995.

Nieto-Castanon, Alfonso, et al. - A modeling investigation of articulatory variability and acoustic stability during American English /r/ production. *Journal of the Acoustical Society of America*. 117:(2005). p. 3196-3212.

Nojima, Lincoln Issamu; Gonçalves, Matilde Cunha - Classificação de Angle e Simon, 2001. Disponível em: <http://www.odontologia.com.br/artigos.asp?id=63> (Acedido a:11/11/2006).

Palmer, J M - *Anatomia para a Fonoaudiologia*. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan , S.A., 2003.

Perkell, J S - *Physiology of Speech Production*. ed. Cambridge: M.I.T. Press, 1969.

Russell, Kevin - Identifying sounds in spectrograms, 2006. Disponível em: <http://www.umanitoba.ca/linguistics/russell/138/2001/acoustic/spectrogram-sounds.html> (Acedido a:11-11-2006/2006).

Shadle, C H; Badin, P; Moulinier, A - *Towards the spectral characteristics of fricative consonants*. In: International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS 91), France, 1991,

Shadle, C H; Dobelke, C U; Scully, C - Spectral analysis of fricatives in vowel context. *Journal of Physique*. 2:(1992a). p. 295-298.

Shadle, C H, et al. - *Ensemble averaging applied to the analysis of fricative consonants*. In: International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP 92), Banff, 1992b,

Shadle, C H; Scully, C - An articulatory-acoustic-aerodynamic analysis of [s] in VCV sequences. *Journal of Phonetics*. 23(1,2):(1995). p. 53-66.

Silva, Carlos A - *Análise Geométrica - Manual da técnica e método de traçado*. ed. Porto: Facies, 2005.

Simpson, Adrian P - Dynamic consequences of differences in male and female vocal tract dimensions. *Journal of the Acoustic Society of America*. 109(5):(2001). p. 2153-2164.

Simpson, Adrian P - Gender-specific articulatory-acoustic relations in vowel sequences. *Journal of Phonetics*. 30:(2002). p. 417-435.

Soli, S D - Second formants in fricatives: Acoustic consequences of fricative-vowel coarticulation. *Journal of the Acoustical Society of America*. 70(4):(1981). p. 976-984.

Speaks, C. - *Introduction to Sound: Acoustics for the Hearing and Speech Sciences*. 3 ed. San Diego: Singular, 1999.

Spiller, Martin S - Ask Doctor Spiller, 2000. Disponível em: <http://www.doctorspiller.com/index.htm> (Acedido a:11/11/2006).

Stevens, K. - *Acoustic Phonetics*. ed. Cambridge: MIT Press, 1998.

Tasko, S.; Westbury, J. - Speed-curvature relations for speech-related articulatory movement. *Journal of Phonetics*. 32:(2004). p. 65-80.

Titze, Ingo R. - *Principles of Voice Production*. 2 ed. Iowa City: Nacional Center for Voice and Speech, 2000.

Valera, Fabiana C P, et al. - Muscular, functional and orthodontic changes in pre school children with enlarged adenoids and tonsils. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 67(7):(2003). p. 761-70.

Westbury, J. - *X-ray microbeam speech production database user's handbook. Version 1.0.* ed. Madison: University of Wisconsin, 1994.

Westbury, J.; Hashi, M.; Lindstrom, M. - Differences among speakers in lingual articulation for American English /r/. *Speech Communication.* 26:(1998). p. 203-226.

Wilde, L F - *Inferring articulatory movements from acoustic properties at fricative-vowel boundaries.* In: The Acoustical Society of America (ASA) 126th Meeting, Denver, 1993,

Witzel, M A; Ross, R B; Munro, I R - Articulation before and after facial osteotomy. *J Maxillofac Surg.* 8(3):(1980). p. 195-202.

Zemlin, W R - *Princípios de Anatomia e Fisiologia em Fonoaudiologia.* 4 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2000.

Zwicker, E.; Terhardt, E. - Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency. *Journal of the Acoustic Society of America.* 68(5):(1980). p. 1523-25.

## PUBLICAÇÕES REALIZADAS NO ÂMBITO DO MESTRADO

Araújo, P. A.; Vilarinho, H.; Jesus, L. M. T. – *The influence of occlusal class in the production of voiceless fricatives*. In: Proceedings of Conference on Turbulences, Berlim, Alemanha, 2005, pp. 35-37.

Araújo, P. A.; Vilarinho, H.; Jesus, L. M. T. – *The influence of occlusal class in the production of voiceless fricatives*. In: Anuário Científico do Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal, 2005.

Araújo, P. A.; Jesus L. M. T., Costa, I. M. – O uso da *X-Ray Microbeam Speech Production Database* no estudo da influência da oclusão dentária na produção de sons de fala. Comunicação oral no V Encontro Nacional das Ciências e Tecnologias da Saúde, Lisboa, Portugal, 2007.